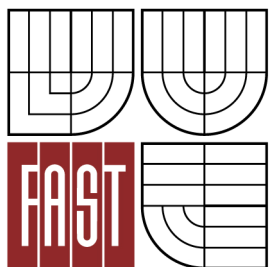




**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA STAVEBNÍ**  
**ÚSTAV KOVOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ**

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING  
INSTITUTE OF METAL AND TIMBER STRUCTURES

## **OCELOVÁ LÁVKA PRO PĚŠÍ**

STEEL FOOTBRIDGE

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**  
DIPLOMA THESIS

**AUTOR PRÁCE**  
AUTHOR

**Bc. RADEK BARTOŇ**

**VEDOUCÍ PRÁCE**  
SUPERVISOR

**doc. Ing. MIROSLAV BAJER, CSc.**

BRNO 2015



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

<b>Studijní program</b>	N3607 Stavební inženýrství
<b>Typ studijního programu</b>	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
<b>Studijní obor</b>	3607T009 Konstrukce a dopravní stavby
<b>Pracoviště</b>	Ústav kovových a dřevěných konstrukcí

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

**Diplomant** Bc. Radek Bartoň

**Název** Ocelová lávka pro pěší

**Vedoucí diplomové práce** doc. Ing. Miroslav Bajer, CSc.

**Datum zadání  
diplomové práce** 31. 3. 2014

**Datum odevzdání  
diplomové práce** 16. 1. 2015

V Brně dne 31. 3. 2014

.....  
doc. Ing. Marcela Karmazínová, CSc.  
Vedoucí ústavu

.....  
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA  
Děkan Fakulty stavební VUT

## **Podklady a literatura**

Podklady a literatura

1. Situace
2. Příčný profil
3. Platné normativní dokumenty
4. Schindler, A., Bureš, J., Pechar, J.: Navrhování ocelových mostů

## **Zásady pro vypracování**

Vypracujte návrh nosné ocelové konstrukce lávky pro pěší dle předané dispozice. Vypracujte variantní řešení, zvolenou variantu rozpracujte.

Předepsané přílohy

Technická zpráva se zhodnocením variant řešení.

Statický výpočet hlavních nosných částí, návrh a výpočet směrných detailů.

Výkresová dokumentace v rozsahu stanoveném vedoucím diplomové práce

Výkaz materiálu.

## **Předepsané přílohy**

Licenční smlouva o zveřejňování vysokoškolských kvalifikačních prací

.....  
doc. Ing. Miroslav Bajer, CSc.  
Vedoucí diplomové práce

## **Abstrakt**

Diplomová práce obsahuje, v části I, studii stávající ocelobetonové konstrukce lávky pro pěší a v části II návrhem a posouzení ocelové konstrukce lávky pro pěší a cyklo dopravu na místě stávající konstrukce lávky. Stávající konstrukce lávky převádí pěší dopravu přes řeku Bečvu, povodí Moravy, a nachází se na nábreží Dukelských hrdinů v Rožnově pod Radhoštěm.

V části I je provedeno posouzení stávající konstrukce lávky podle norem ČSN a ČSN EN pro změněné statické působení konstrukce lávky. Je provedeno srovnání obou posouzení podle uvedených norem mezi sebou a také původním statickým posudkem z roku 1988.

V části II je proveden návrh a posouzení ocelové nosné konstrukce lávky na místě stávající lávky popsané v části I. Bylo zvoleno statické řešení s využitím dvou vierendeelových nosníků spojených příčnicí, které podepírají betonovou mostovku. Řešeno bylo 9 variant vierendeelových nosníků s různou výškou nosníků a počtem svislic. Pro vybranou variantu je vypracován detailní návrh a posouzení jednotlivých prvků konstrukce lávky.

## **Klíčová slova**

lávka pro pěší a cyklisty, ocelová konstrukce, dolní mostovka, uzavřený průřez, vierendeelův nosník, elastomerová ložiska,

## **Abstract**

This diploma thesis contains a study of current composite structure of footbridge and in part II design and assessment of steel structure of footbridge for pedestrians and cyclists placed on current footbridge location. Current footbridge is located on "nábreží Dukelských hrdinů" in Rožnov pod Radhoštěm.

In part I, assessment of the current composite structure of footbridge is done, using ČSN and ČSN EN standards for adjusted static behavior of the structure. Comparison of both assessments is made and also with an original assessment from 1988.

In part II, design and assessment of steel structure of footbridge placed on current footbridge location described in part I is done. The structure was designed as two vierendeels trusses connected with cross beams, supporting concrete bridge deck. 9 variants were examined, differing with truss height and the number of verticals. Detailed design and assessment for parts of the structure is done for the chosen variant.

## **Keywords**

footbridge for pedestrians and cyclists, steel structure, lower bridge deck, closed section, vierendeels truss, elastomeric bearings

...

### **Bibliografická citace VŠKP**

Bc. Radek Bartoň *Ocelová lávka pro pěší*. Brno, 2015. 249 s., 462 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav kovových a dřevěných konstrukcí. Vedoucí práce doc. Ing. Miroslav Bajer, CSc.

**Prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 16.1.2015

.....  
podpis autora  
Bc. Radek Bartoň

## **Poděkování**

Rád bych poděkoval vedoucímu své diplomové práce doc. Ing. Miroslavu Bajerovi CSc, za vedení, cenné rady, energii a čas, který mně a mé práci věnoval, jež byly nezbytné pro vypracování a zdárné dokončení mé diplomové práce.

Rád bych také poděkoval svým rodičům Miroslavě a Pavlu Bartoňovým za neskonalou trpělivost a podporu, jak morální tak také finanční, při mém studiu, bez nich by toto nebylo možné.

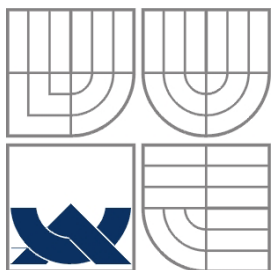
Rád bych zde také zmínil ochotu pracovníků státního okresního archivu ve Vsetíně, kteří byli nápomocní nad rámec svým povinností.

.....  
Radek Bartoň

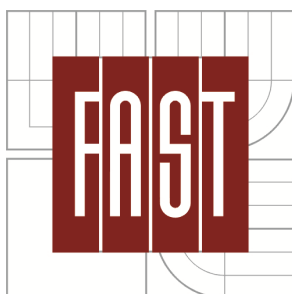
## OBSAH DIPLOMOVÉ PRÁCE

- ČÁST I - STUDIE STÁVAJÍCÍ LÁVKY PRO PĚŠÍ
- ČÁST II - NÁVRH A POSOUZENÍ OCELOVÉ LÁVKY PRO PĚŠÍ
  - ČÁST II.A - VOLBA VARIANTY ŘEŠENÍ
  - ČÁST II.B - TECHNICKÁ ZPRÁVA
  - ČÁST II.C - STATICKÝ VÝPOČET
- PŘÍLOHY
  - ČÁST I – PŘÍLOHA 1 PŮVODNÍ STATICKÝ VÝPOČET LÁVKY DLE ČSN Z ROKU 1988
  - PŘÍLOHA 2 VÝPOČET SOUČINITELŮ DOTVAROVÁNÍ BETONU DLE ČSN EN
  - PŘÍLOHA 3 VÝPOČET PRŮŘEZOVÝCH CHARAKTERISTIK HLAVNÍCH NOSNÍKŮ
  - PŘÍLOHA 4 DOKUMENT VÝPOČETNÍHO PROGRAMU SCIA ENGINEER 2013.0 PRO POSOUZENÍ DLE ČSN
  - PŘÍLOHA 5 DOKUMENT VÝPOČETNÍHO PROGRAMU SCIA ENGINEER 2013.0 PRO POSOUZENÍ DLE ČSN EN
  - PŘÍLOHA 6 VÝPOČET PŘÍRŮSTKŮ NAPĚTÍ OD SMRŠTĚNÍ
  - PŘÍLOHA 7 STANOVENÍ NAPĚTÍ NA ŘEŠENÝCH PRŮŘEZECH
  - PŘÍLOHA 8 SCHÉMA GEOMETRIE STÁVAJÍCÍ KONSTRUKCE LÁVKY PRO PĚŠÍ
  - ČÁST II.A – PŘÍLOHA 1 VÝPOČET VZPĚRNÝCH DÉLEK HORNÍHO PASU HLAVNÍHO NOSNÍKU JEDNOTLIVÝCH VARIANT ŘEŠENÍ
  - PŘÍLOHA 2 SCHÉMA NAVRŽENÝCH PROFILŮ A VÝPOČET HMOTNOSTÍ JEDNOTLIVÝCH VARIANT ŘEŠENÍ
  - ČÁST II.C – PŘÍLOHA 1 POSUDKY JEDNOTLIVÝCH PRVKŮ NOSNÉ OCELOVÉ KONSTRUKCE LÁVKY
  - PŘÍLOHA 2 VÝPOČET VZPĚRNÝCH DÉLEK HORNÍHO PASU HLAVNÍCH NOSNÍKŮ
  - PŘÍLOHA 3 ČLÁNEK Z ČASOPISU STAVEBNÍ OBZOR
  - PŘÍLOHA 4 DOKUMENT VÝPOČETNÍHO PROGRAMU SCIA ENGINEER 2013.0
  - PŘÍLOHA 5 VÝKRESY
    - 5.01 VÝKRES SITUACE A POHLED
    - 5.02 PŘÍČNÉ ŘEZY
    - 5.03 SESTAVNÝ VÝKRES HLAVNÍHO NOSNÍKU
    - 5.04 PŮDORYS HOZIZONTÁLNÍHO ZTUŽENÍ LÁVKY A PŘÍČNÉ ŘEZY
    - 5.05 VÝROBNÍ VÝKRES SVAŘOVANÝCH PRVKŮ HLAVNÍHO NOSNÍKU
    - 5.06 VÝROBNÍ VÝKRES OSTATNÍCH PRVKŮ LÁVKY
    - 5.07 VIZUALIZACE
  - PŘÍLOHA 6 VÝKAZ MATERIÁLU





**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA STAVEBNÍ**  
**ÚSTAV KOVOVÝCH A DŘEVĚNÝCH**  
**KONSTRUKCÍ**

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING  
INSTITUTE OF METAL AND TIMBER STRUCTURES

## **OCELOVÁ LÁVKA PRO PĚŠÍ** STEEL FOOTBRIDGE

### **ČÁST I: STUDIE STÁVAJÍCÍ LÁVKY PRO PĚŠÍ** PART I: STUDY OF CURRENT FOOTBRIDGE STRUCTURE

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**  
DIPLOMA THESIS

**AUTOR PRÁCE**  
AUTHOR

**Bc. RADEK BARTOŇ**

**VEDOUCÍ PRÁCE**  
SUPERVISOR

**doc. Ing. MIROSLAV BAJER, CSc.**

**BRNO 2015**

## Obsah

1. ÚVOD .....	5
2. POPIS GEOMETRIE .....	6
3. POSTUP VÝSTAVBY LÁVKY .....	10
3.1 Montáž hlavních nosníků .....	10
3.2 Betonáž ŽB desky .....	10
3.3 Ostatní stálé zatížení .....	10
4. MATERIÁLY .....	11
4.1 Ocel .....	11
4.2 Beton .....	13
5. PRŮŘEZY VZDORUJÍCÍ ZATÍŽENÍ DLE ČSN .....	14
5.1 Ocelový průřez – teorie elasticity .....	14
5.2 Spřažený průřez .....	16
5.2.1 Poměry modulů pružnosti .....	16
5.2.2 Průřezové charakteristiky spřaženého průřezu – teorie elasticity .....	17
6. PRŮŘEZY VZDORUJÍCÍ ZATÍŽENÍ DLE ČSN EN .....	18
6.1 Ocelový průřez – teorie elasticity .....	18
6.2 Ocelový průřez – teorie plasticity .....	18
6.3 Spřažený průřez .....	19
6.3.1 Poměry modulů pružnosti .....	19
6.3.2 Průřezové charakteristiky spřaženého průřezu – teorie elasticity .....	20
6.3.3 Průřezové charakteristiky spřaženého průřezu – teorie plasticity .....	21
7. SROVNÁNÍ PRŮŘEZOVÝCH CHARAKTERISTIK DLE ČSN A ČSN EN .....	22
7.1 Srovnání poměrů modulů pružnosti .....	22
7.2 Srovnání průřezových charakteristik – teorie elasticity .....	24
8. ZATÍŽENÍ LÁVKY DLE ČSN 73 6203 .....	26
8.1 Zatížení stálá .....	26
8.2 Nahodilé zatížení krátkodobé .....	28
8.2.1 Rovnoměrné zatížení (ČSN 73 6203) .....	28
8.2.2 Lehké nákladní auto hmotnosti 2,5t (ČSN 73 6203) .....	28
8.3 Klimatická zatížení .....	32
8.3.1 Zatížení větrem .....	32

8.3.2	Účinky teplotních změn .....	33
8.4	Zatížení zábradlí.....	33
9.	ZATÍŽENÍ LÁVKY DLE ČSN EN .....	34
9.1	Stálá zatížení.....	34
9.2	Proměnná zatížení dopravou .....	35
9.2.1	Zatížení chodci.....	35
9.2.2	Mimořádný výskyt vozidla na lávce.....	36
9.2.3	Rekapitulace zatížení od dopravy.....	39
9.3	Klimatická zatížení .....	40
9.3.1	Zatížení větrem.....	40
9.3.2	Zatížení teplotou.....	46
9.4	Zatížení zábradlí.....	47
10	SROVNÁNÍ ZATÍŽENÍ LÁVKY DLE ČSN A ČSN EN.....	48
10.1	Stálá zatížení.....	48
10.2	Zatížení lávky chodci.....	49
10.3	Zatížení lávky vozidlem.....	50
10.3.1	Srovnání geometrie vozidel.....	50
10.3.2	Srovnání zatížení vozidlem .....	50
10.4	Vodorovné účinky zatížení chodci/vozidlem .....	51
10.5	Zatížení větrem.....	51
10.5.1	Rovnoměrná (plošná) zatížení.....	51
10.5.2	Náhradní liniová zatížení .....	51
10.6	Zatížení teplotou .....	52
10.7	Zatížení zábradlí.....	52
12	VÝPOČTOVÝ MODEL KONSTRUKCE .....	53
12.1	Původní statický model konstrukce z roku 1988.....	53
12.2	Upravený statický model pro výpočet podle ČSN .....	53
12.3	Statický model pro výpočet dle ČSN EN .....	54
12.4	Modely ve Scia Engineer 2013.0 .....	54
12.4.1	Model konstrukce.....	54
12.4.2	Model zatížení .....	55
13	ZATĚŽOVACÍ STAVY A KOMBINACE ZATÍŽENÍ DLE ČSN .....	57
13.1	Zatěžovací stavy ČSN .....	57

13.2	Kombinace dle ČSN 73 6203.....	58
13.2.1	Kombinace pro mezní stav únosnosti.....	59
13.2.2	Kombinace pro mezní stav použitelnosti .....	60
14	ZATĚŽOVACÍ STAVY A KOMBINACE ZATÍŽENÍ DLE ČSN EN.....	61
14.1	Zatěžovací stavy dle ČSN EN.....	61
14.2	Kombinace dle ČSN EN 1990 .....	61
14.2.1	Kombinace pro mezní stav únosnosti.....	62
14.2.2	Kombinace pro mezní stav použitelnosti .....	64
15.	SROVNÁNÍ KOMBINACÍ ZATÍŽENÍ DLE ČSN A ČSN EN.....	65
15.1	KRAJNÍ HLAVNÍ NOSNÍK.....	65
15.2	VNITŘNÍ HLAVNÍ NOSNÍK.....	66
15.3	Srovnání maximálních ohybových momentů .....	67
15.3.1	Krajní nosník .....	67
15.3.2	Vnitřní nosník .....	68
16	POSOUZENÍ SPŘAŽENÍ A SPŘAHOVACÍCH TRNŮ .....	69
16.1	Posouzení dle ČSN .....	69
16.1.1	Geometrie.....	69
16.1.2	Smyková únosnost trnu.....	70
16.1.3	Počet a rozmístění trnů .....	70
16.1.4	Nutný počet trnů pro změněný model konstrukce .....	70
16.2	Posouzení dle ČSN EN 1994-1-1 .....	72
16.2.1	Materiály .....	72
16.2.2	Kontrola geometrie .....	72
16.2.3	Smyková únosnost trnu.....	73
16.2.4	Posouzení spřažení pro provedený počet a rozmístění spřahovacích trnů.....	73
16.3	Porovnání únosnosti trnu dle ČSN a ČSN EN.....	74
17.	PŘÍRŮSTEK NAPĚTÍ OS SMRŠTĚNÍ BETONU.....	75
17.1	Přírůstek napětí v betonové desce .....	75
17.1.1	Přírůstek napětí v betonu dle ČSN.....	75
17.1.2	Přírůstek napětí v betonové desce dle ČSN EN .....	76
17.2	Přírůstek napětí na ocelovém průřezu .....	77
17.2.1	Přírůstek napětí v oceli dle ČSN.....	77
17.2.2	Přírůstek napětí v oceli dle ČSN EN .....	78

17.3	Srovnání přírůstků napětí dle jednotlivých norem.....	80
18.	POSOUZENÍ HLAVNÍCH NOSNÍKŮ DLE ČSN .....	81
18.1	Posouzení spřaženého průřezu dle ČSN.....	83
18.2	Posouzení spřaženého průřezu dle ČSN EN .....	86
18.2.1	Zatížení dle 6.10a.....	86
18.2.2	Zatížení dle 6.10b .....	89
18.3	Srovnání procentuálního využití v posuzovaných vláknech průřezu .....	92
19.	MEZNÍ STAV POUŽITELNOSTI .....	92
20.	ZÁVĚR A VYHODNOCENÍ.....	93
21.	POUŽITÁ LITERATURA.....	101

#### SEZNAM PŘÍLOH:

PŘÍLOHA 1	PŮVODNÍ STATICKÝ VÝPOČET LÁVKY DLE ČSN Z ROKU 1988
PŘÍLOHA 2	VÝPOČET SOUČINITELŮ DOTVAROVÁNÍ BETONU DLE ČSN EN
PŘÍLOHA 3	VÝPOČET PRŮŘEZOVÝCH CHARAKTERISTIK HLAVNÍCH NOSNÍKŮ
PŘÍLOHA 4	DOKUMENT VÝPOČETNÍHO PROGRAMU SCIA ENGINEER 2013.0 PRO POSOUZENÍ DLE ČSN
PŘÍLOHA 5	DOKUMENT VÝPOČETNÍHO PROGRAMU SCIA ENGINEER 2013.0 PRO POSOUZENÍ DLE ČSN EN
PŘÍLOHA 6	VÝPOČET PŘÍRŮSTKŮ NAPĚTÍ OD SMRŠTĚNÍ
PŘÍLOHA 7	STANOVENÍ NAPĚTÍ NA ŘEŠENÝCH PRŮŘEZECH
PŘÍLOHA 8	SCHÉMA GEOMETRIE STÁVAJÍCÍ KONSTRUKCE LÁVKY PRO PĚŠÍ

## 1. ÚVOD

Předmětem posouzení je stávající ocelobetonová sprážená konstrukce lávky pro pěší přes řeku Bečvu v Rožnově pod Radhoštěm. Tato konstrukce byla navržena v roce 1988 a realizována v roce 1989 na místě zchátralého dřevěného mostu. Bylo využito stávajících krajních podpěr a lávka byla navržena jako jednopolová, prostě podepřená, sprážená konstrukce.

Lávka se nachází na nábreží Dukelských hrdinů (viz. obr.1). Tvoří jednu z hlavních a nejvyužívanějších spojnic mezi oběma břehy řeky Bečvy sloužící výhradně chodcům.



Obr. 1 Situace řešené lávky pro pěší

Původní lávka byla navržena a posouzena dle tehdy platných norem, např.:

- ČSN 73 6201 Projektování a prostorové uspořádání mostních objektů
- ČSN 73 6003 Zatížení mostů
- Směrnice pro sprážené ocelobetonové konstrukce – VÚPS Praha 1978

Statický posudek vypracovaný v mostárně ve Frýdku – Místku, tehdejší pobočce železářny Vítkovice je přiložen v přílohou části této diplomové práce jako PŘÍLOHA 1. Tento posudek je použit jako vzor pro posudek hlavních nosníků lávky, avšak při průzkumu prováděcí dokumentace lávky, nalezené po dlouhém pátrání v archivu okresního stavebního úřadu ve Vsetíně, došel autor k závěru, že statický model použitý v původním statickém posudku, oddělené řešení hlavních nosníků krajních a vnitřních pro jejich zatěžovací šířku, není, v případě použití příčníků přivařených na hlavní nosníky, dostatečně přesné.

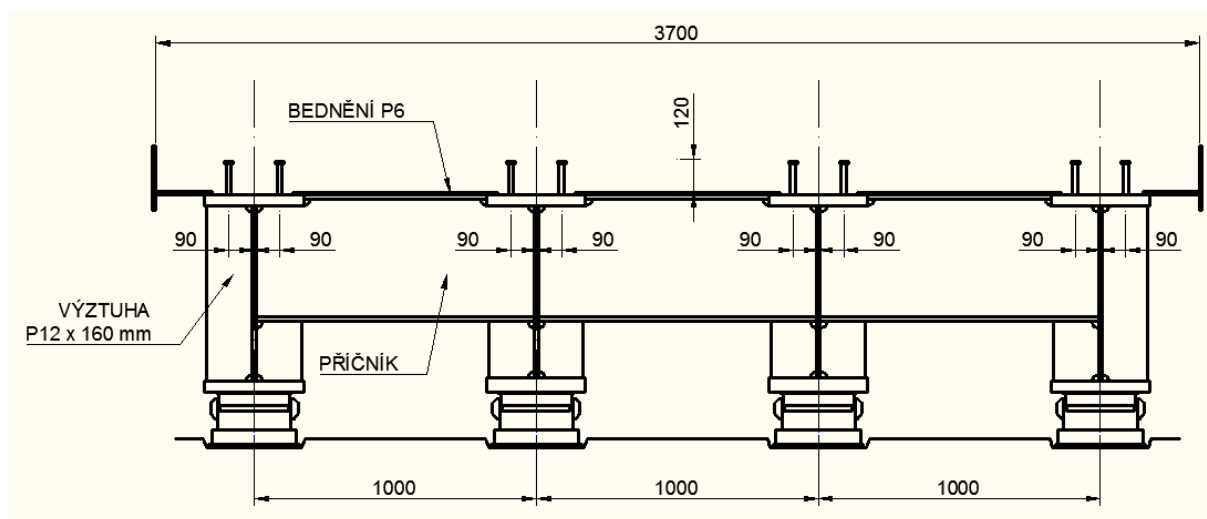
Proto je v této části diplomové práce provedeno posouzení hlavních nosníků:

- A) Podle ČSN se změněným statickým modelem oproti původnímu posudku, dle teorie elasticity
- B) Podle ČSN EN, změněný statický model, teorie elasticity a v případě nevyhovění na MSÚ podle teorie elasticity
- C) Podle ČSN EN, změněný statický model, teorie plasticity

## 2. POPIS GEOMETRIE

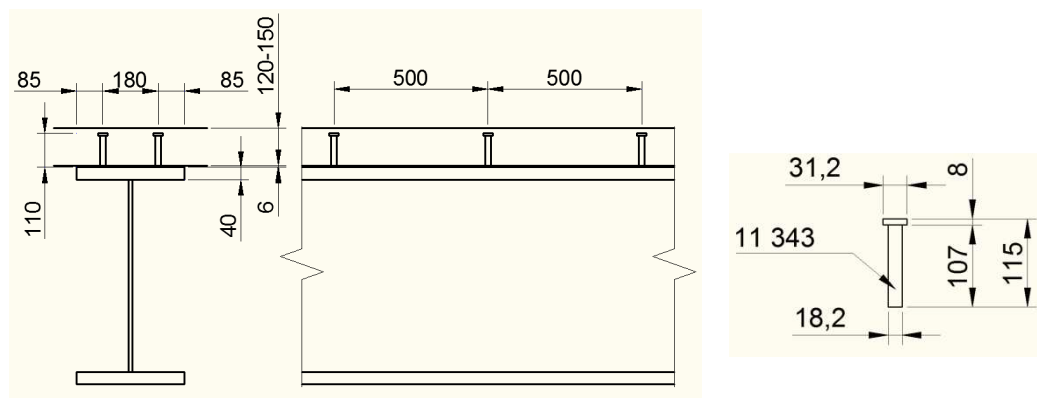
Lávka překonává překážku, řeku Bečvu, pod úhlem 92g (82,8°). Je prostě uložena na dvou krajních monolitických železobetonových opěrách pomocí pevných a válečkových ocelových ložisek. Podélný sklon lávky je ve stoupání 0,5% směrem od silnice vedoucí podél řeky Bečvy. Volný prostor mezi zábradlím je 3,34 m a vzdálenost mezi ložisky je 33,6 m a celková půdorysná délka hlavních nosníků je 34,3 m (viz Obr. 6).

Konstrukce lávky je tvořena čtyřmi ocelovými svařovanými nosíky tvaru I spráženými s monolitickou betonovou deskou, tloušťky 120-150 mm, pomocí stahovacích trnů. Osová vzdálenost nosníků je 1,0 m a jsou použity dva typy nosníků – krajní a vnitřní (viz Obr. 7). Tyto nosíky jsou spojeny podporovými příčnicí nad ložisky a v pětinách rozpětí středními příčnicí, po 6,72 m. Příčnice jsou tvořeny svařovanými I profily (viz. Obr. 7) a k hlavním nosníkům jsou připojeny svařovanými přípoji. U hlavních nosníků bylo provedeno polygonální nadvýšení o velikosti 190 mm (viz obr. 6), které redukuje svislý průhyb konstrukce lávky.



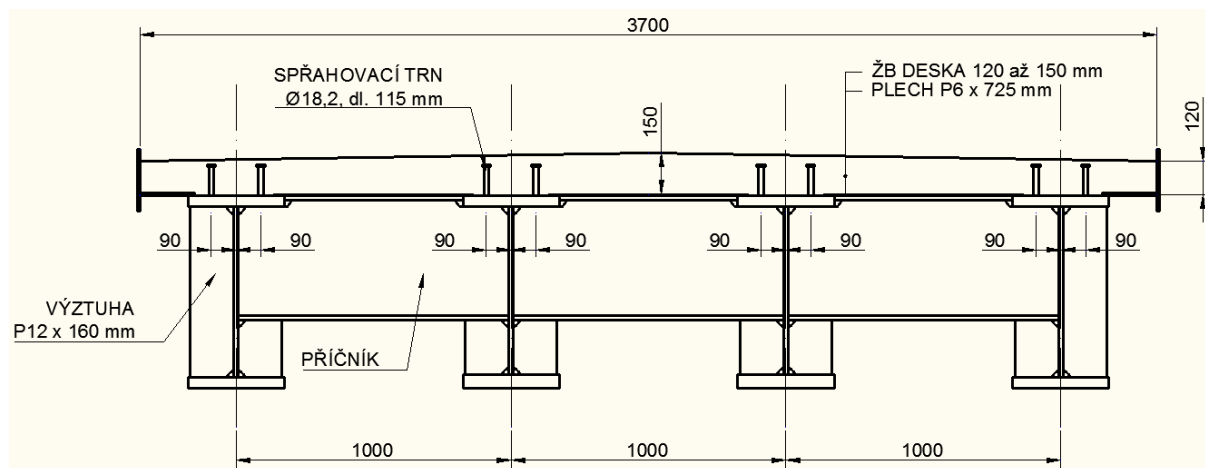
Obr. 2 Schéma příčného řezu

Spráhovací trny jsou na nosnících rozmístěny rovnoměrně, ve vzdálenosti 500 mm, ve dvojicích od sebe vzdálených 180 mm. Na nosíky a příčnice je navařeno bednění z plechu tl. 6 mm a vybetonována monolitická železobetonová deska tl. 120-150 mm.



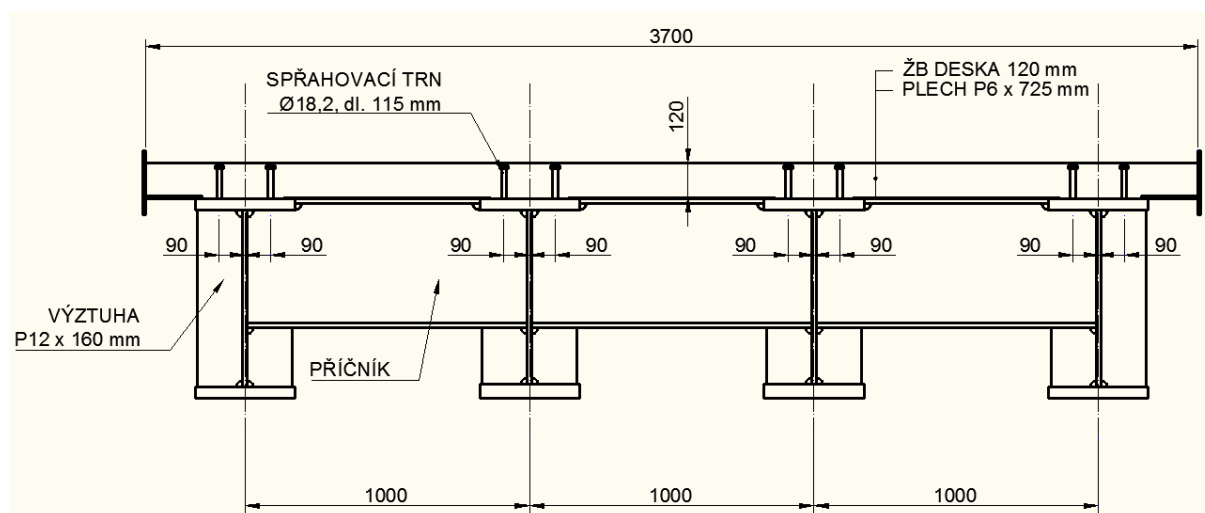
Obr. 3 Schéma spráhovacího trnu a jejich rozmístění na hlavním nosníku

Při montáži v roce 1989 byla vybetonována železobetonová deska s příčným střechovitým sklonem tloušťky 120 – 150 mm (viz Obr. 4).



Obr. 4 Schéma ŽB desky před rekonstrukcí (stará skladba)

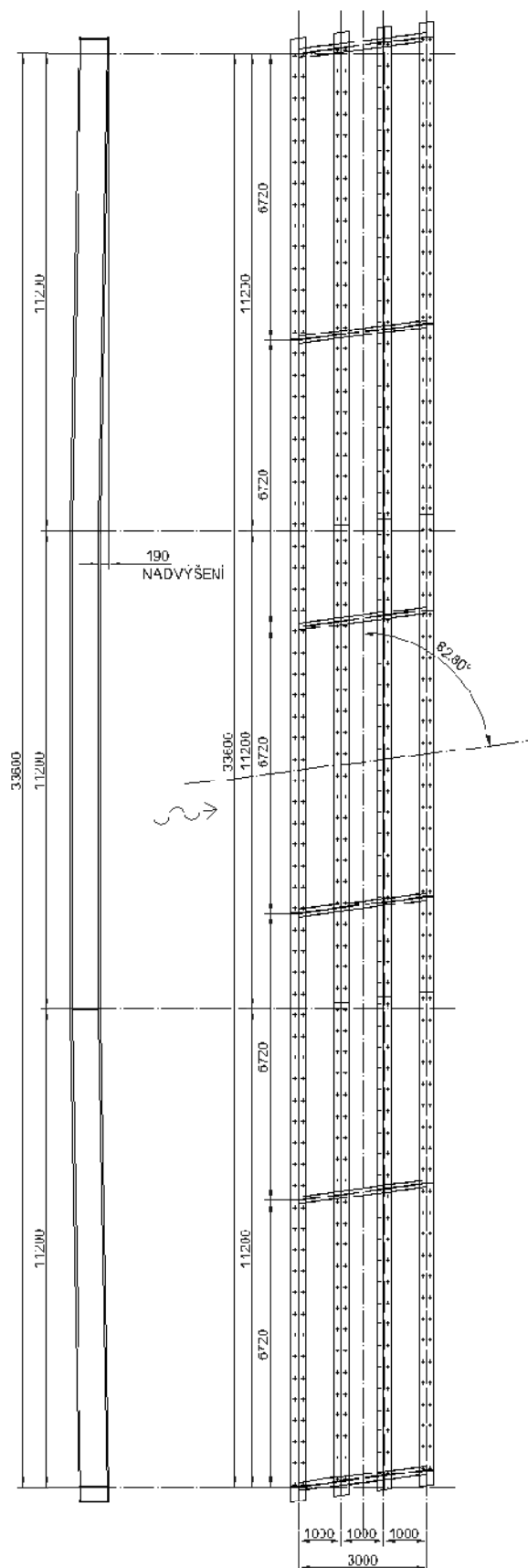
V roce 2013 byla provedena rekonstrukce pochozí vrstvy mostu, při které byla deska upravena na desku bez příčného sklonu tloušťky 120 mm (viz. Obr. X).



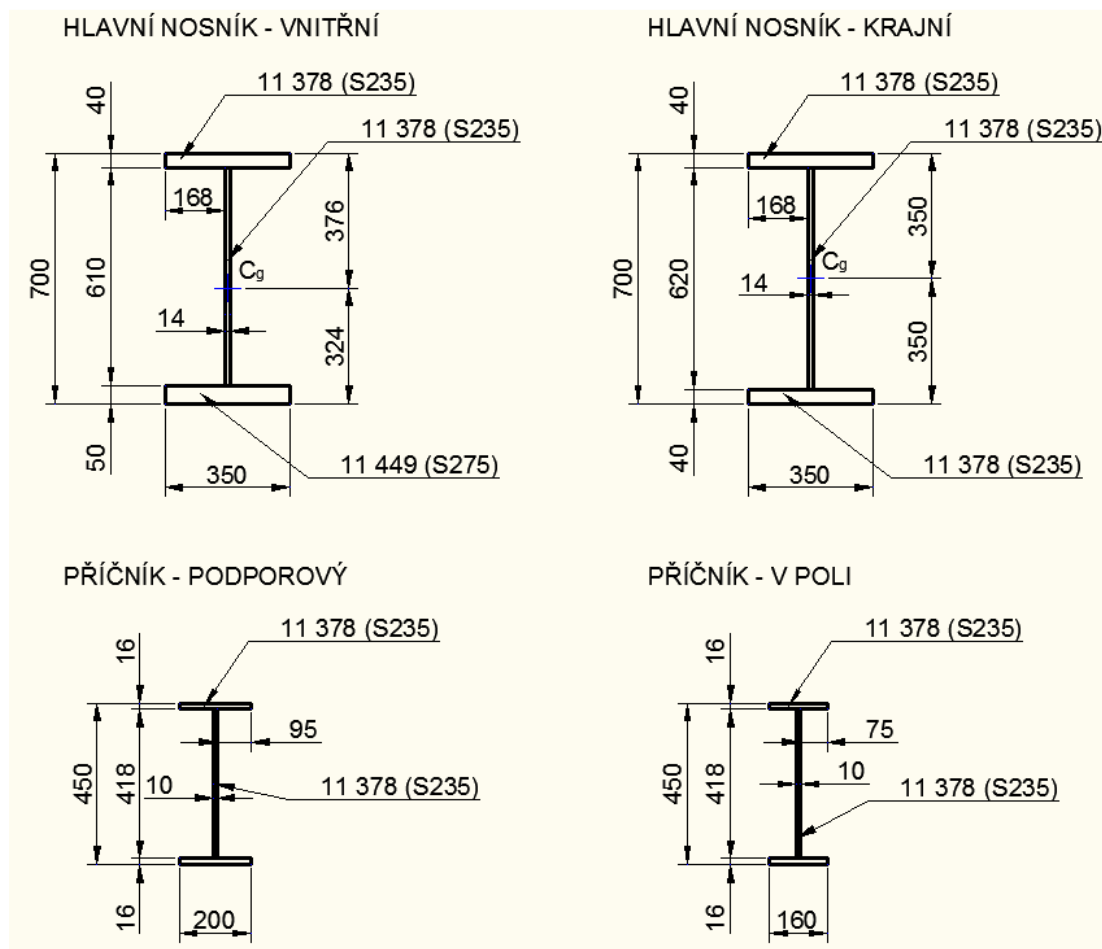
Obr. 5 Schéma ŽB desky po rekonstrukci v roce 2013 (nová skladba)

Skladby pochozích vrstev jsou detailněji popsány v podkapitole 3.3 tohoto dokumentu.





**Obr. 6 Půdorys a podélný pohled na hlavní nosník**



Obr. 7 Schéma profilů hlavních nosníků a příčníků

Pozn.: U vnitřního hlavního nosníku byla zvolena kombinace materiálů, kdy horní pásnice a stojina jsou z oceli kvality S235 (11 378) a naproti tomu spodní pásnice je z materiálu S275 (11 449). Avšak z důvodu tloušťky spodní pásnice nad 40 mm bude její mez kluzu redukována.

### 3. POSTUP VÝSTAVBY LÁVKY

Lávka byla postavena v roce 1989. Postup montáže, popsany níže, se dělil na několik částí, ve kterých se měnil průřez, kterým bylo přednášeno zatížení.

#### 3.1 Montáž hlavních nosníků

Hlavní nosníky byly montovány ve dvojicích, vždy po třetinách, na dočasné konstrukční podpory. Celkem bylo v dílně vyrobeno 6 dvojic nosníků o délce třetiny rozpětí, které byly spojeny přivařenými příčníky. Toto rozdělení také umožňuje vnesení polygonálního nadvýšení hlavních nosníků. Po provedení svařovaného spoje hlavních nosníků jsou tyto dvě dvojice hlavních nosníků propojeny příčníky přivařenými na staveništi. Po smontování ocelové konstrukce jsou odstraněny montážní podpěry.

Hlavní nosníky přenášejí vlastní tíhu jako prostý nosník. Zatížení vzdoruje pouze ocelový profil.

#### 3.2 Betonáž ŽB desky

Na hlavní nosníky je přivařen 6 mm tlustý plech, který plní funkci ztraceného bednění a jsou také navařeny spráhovací trny a uložena betonářská výztuž. Zároveň je také předem provedena příprava pro montáž zábradlí.

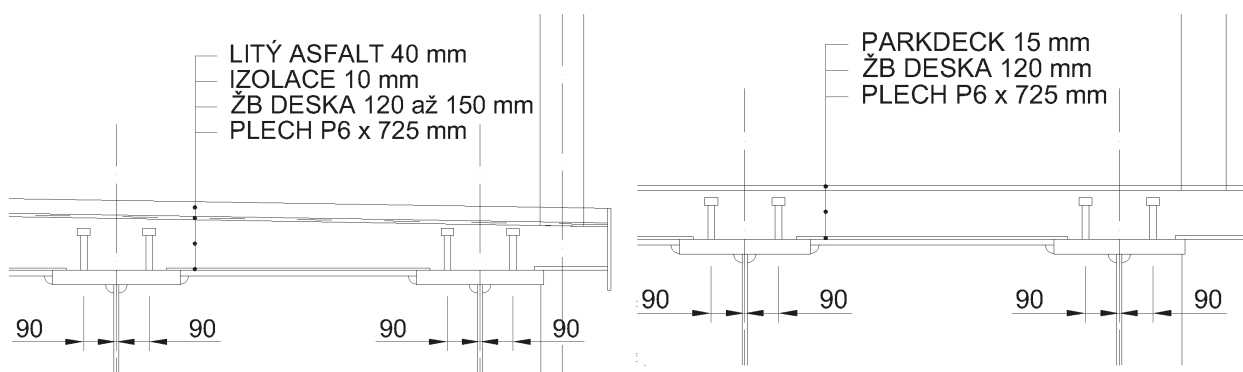
Ostatní stálé zatížení od plechového bednění a mokré betonové směsi přenáší ocelové profily hlavních nosníků.

#### 3.3 Ostatní stálé zatížení

Ostatní stálé zatížení, které zbývá aplikovat na konstrukci je zatížení vrstev pochozí konstrukce a zábradlí. Toto zatížení je již přenášeno spráženým ocelobetonovým průřezem.

Sloupky zábradlí jsou montovány do předem zabetonovaných ocelových trubek.

Pochozí vrstva byla předmětem rekonstrukce v roce 2013. Pro statický posudek bude použita původní skladba a poté bude zavedeno odlehčení.



Obr. 8 Původní skladba chodníku (stará skladba) a skladba po rekonstrukci (nová skladba)

Tato rekonstrukce, odlehčení mostu bude zohledněna ve statickém výpočtu, jak podle ČSN EN, tak podle ČSN, v kombinacích posuzujících možnost překlopení lávky a vznik takové reakce v ložisku.

## 4. MATERIÁLY

Materiály v původní dokumentaci jsou označeny dle norem ČSN. Níže bude uvedeno toto zařídění a jemu odpovídající značení dle ČSN EN norem.

### 4.1 Ocel

Pro přehlednost jsou druhy oceli přiřazeny jednotlivým konstrukčním prvkům v následující tabulce 1. Graficky lze použité materiály a jejich umístění vidět na schématech na Obr. 4-6, kapitola 2.

Pozn.: Byl nalezen rozdíl ve statickém výpočtu dle ČSN a ve výrobní dokumentaci ocelové konstrukce. Pro účely posouzení budou použity údaje z výrobní dokumentace, protože se předpokládá, že pouze nedošlo ke změně statického výpočtu po změně v později vypracované výrobní dokumentaci – změna na stranu bezpečnou.

Prvek	Část prvku	Tloušťka [mm]	Označení materiálu dle		Poznámky
			ČSN	ČSN EN	
Hlavní nosník - krajní	Horní pásnice	40	11 378.1	S235	
	Stojina	14	11 378.1	S235	
	Dolní pásnice	40	11 378.1	S235	
Hlavní nosník - vnitřní	Horní pásnice	40	11 378.1	S235	
	Stojina	14	11 378.1	S235	
	Dolní pásnice	50	11 449.1	S275	Rozdíl mezi statickým posudkem a výrobní dokumentací
Příčníky	Pásnice	16	11 378.1	S235	
	Stojiny	10	11 378.1	S235	
Mostovka	P6	6	11 375.0	S235	
	P10	10	11 375.1	S235	
Ložiska	P40	40	11 484.1	S375	
	P60	60	11 503.0	S355	
	P25	25	11 484.1	S375	
Spřahovací trny	-	Ø18,2	11 343	S235*	

Tabulka 1 Označení použitého materiálu pro jednotlivé části konstrukce lávky

Dle ČSN EN 1993-1-1 3.2.1 (1) lze použít mechanické vlastnosti z normy hutního výrobku, kde  $R_{eH} = f_y$  a  $R_m = f_u$ .

Níže je vypsán soubor mechanických a fyzikálních vlastností oceli a proveden výtah mezí kluzu  $R_{eH} = f_y$  a pevností oceli v tahu  $R_m = f_u$  z jednotlivých norem hutních výrobků. Tyto hodnoty budou použity pro statické posouzení konstrukce.

Společné vlastnosti pro všechny typy ocelí:

E=	210	GPa	Modul pružnosti v tahu a tlaku (Youngův modul)
G=	81	GPa	Modul pružnosti ve smyku
$\alpha$ =	$12 \cdot 10^{-6}$	$(^{\circ}\text{C})^{-1}$	Součinitel délkové tepelné roztažnosti
$\rho$ =	7850	$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$	Objemová hmotnost oceli
$\nu$ =	0,3	-	Součinitel příčné deformace

**Ocel 11 378.1 (dle ČSN 41 1378)**

tl. [mm]	3 až 16	nad 16 do 40	nad 40 do 63	
$R_{eH}$ [MPa]	235	225	215	$f_y$ [MPa]
$R_m$ [MPa]	340 - 470			$f_u$ [MPa]

**Ocel 11 449.1 (dle ČSN 41 1449)**

tl. [mm]	3 až 16	nad 16 do 40	nad 40 do 63	
$R_{eH}$ [MPa]	295	285	275	$f_y$ [MPa]
$R_m$ [MPa]	410 - 560			$f_u$ [MPa]

**Ocel 11 375.1 (dle ČSN 41 1375)**

tl. [mm]	3 až 16	nad 16 do 40	nad 40 do 63	
$R_{eH}$ [MPa]	235	225	215	$f_y$ [MPa]
$R_m$ [MPa]	340 - 470			$f_u$ [MPa]

**Ocel 11 484.1 (dle ČSN 41 1484)**

tl. [mm]	$\geq 16$	nad 16 do 25	nad 25 do 60	
$R_{eH}$ [MPa]	375	365	355	$f_y$ [MPa]
$R_m$ [MPa]	470 - 610			$f_u$ [MPa]

**Ocel 11 503.1 (dle ČSN 41 1503)**

tl. [mm]	3 až 16	nad 16 do 40	nad 40 do 63	
$R_{eH}$ [MPa]	355	345	335	$f_y$ [MPa]
$R_m$ [MPa]	490 - 630			$f_u$ [MPa]

**Ocel 11 343.1 (dle ČSN 41 1343)**

tl. [mm]	3 až 16	nad 16 do 40	nad 40 do 63	
$R_{eH}$ [MPa]	205	195	185	$f_y$ [MPa]
$R_m$ [MPa]	310 - 440			$f_u$ [MPa]

Tabulka 2 Pevnost a mez kluzu použitých druhů oceli dle příslušných norem hutního výrobku

## 4.2 Beton

Pro monolitickou konstrukci desky mostovky byl použit beton třídy B20 (třída III) dle ČSN 73 2400, kterému odpovídá beton třídy C16/20 dle ČSN EN 1992-1-1, Tabulka 3.1.

### Beton třídy III(ČSN 73 2400) -normové hodnoty

$R_b$ [MPa]	15
$R_{bz}$ [MPa]	1
$E_b$ [MPa]	26500

### -výpočtové hodnoty

$R_{bi}$ [MPa]	11,5
$R_{bz}$ [MPa]	0,75

### Beton C16/20 (ČSN EN 1992-1-1, Tabulka 3.1)

$f_{ck}$ [MPa]	16,0
$f_{ctk}$ [MPa]	1,5
$E_{cm}$ [MPa]	29000,0
$\gamma_c$ [-]	1,5
$f_{cd}$ [MPa]	10,67
$f_{ctd}$ [MPa]	1,0

Tabulka 3 Základní vlastnosti betonu dle příslušné normy

Poznámky autora [!]:

Kvalita betonu nevyhovuje požadavku normy ČSN EN 1994-1 pro minimální pevnostní třídu betonu C20/25.

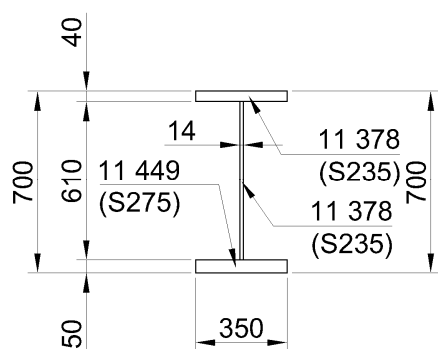
Pro srovnatelnost výpočtů dle ČSN a ČSN EN bude použita hodnota  $E_b = E_{cm} = 26500$  MPa.

## 5. PRŮŘEZY VZDORUJÍCÍ ZATÍŽENÍ DLE ČSN

### 5.1 Ocelový průřez – teorie elasticity

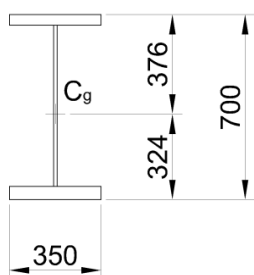
V příčném řezu lávky je využito dvou typů ocelových svařovaných I průřezů – krajní a vnitřní.

A) Vnitřní ocelový svařovaný I průřez



Průřezové charakteristiky:

Plocha	$A_a =$	40040	mm <sup>2</sup>
Smyk. plocha	$A_{a,v} =$	8540	mm <sup>2</sup>
Moment setrvačnosti	$I_{a,y} =$	$3,6173 \cdot 10^9$	mm <sup>4</sup>
	$I_{a,z} =$	$3,2170 \cdot 10^8$	mm <sup>4</sup>
Poloměry setrvačnosti	$i_{a,y} =$	301	mm
	$i_{a,z} =$	90	mm



Plastické moduly	$W_{a,y,pl} =$	$1,1409 \cdot 10^7$	mm <sup>3</sup>
	$W_{a,z,pl} =$	$2,7861 \cdot 10^6$	mm <sup>3</sup>
Pružné moduly	$W_{a,y,el} =$	$9,6310 \cdot 10^6$	mm <sup>3</sup>
	$W_{a,z,el} =$	$1,8383 \cdot 10^6$	mm <sup>3</sup>
Moment setrvačnosti v prostém kroucení	$I_{a,t} =$	$2,2649 \cdot 10^7$	mm <sup>4</sup>

Obr. 9 Schéma profilu vnitřního hlavního nosníku

Výšečový moment

setrvačnosti  $I_{a,w} = 3,4064 \cdot 10^{13}$  mm<sup>6</sup>

Vzpěrné křivka y-y c  $\alpha = 0,49$  -

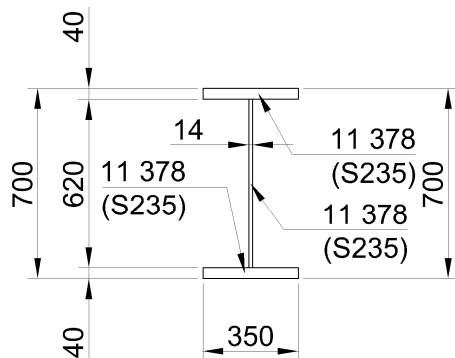
z-z d  $\alpha = 0,76$  -

Křivky klopení h/b ≤ 2 c  $\alpha = 0,49$  -

Zatřídění průřezu:	stojina	$\epsilon = \sqrt{235/235} = 1,0$	-	
		$\alpha = 336/610 = 0,55$	-	$> 0,5 \Rightarrow c/t \leq \frac{396\epsilon}{13\alpha - 1} = 64,39$ -
		$c/t = 610/14 = 43,571$	-	$< 64,39 \Rightarrow$ třída 1
	horní pásnice	$\epsilon = \sqrt{235/235} = 1,0$	-	
		$c/t = 168/40 = 4,2$	-	$< 9\epsilon = 9 \Rightarrow$ třída 1
	dolní pásnice	$\epsilon = \sqrt{235/275} = 0,92$	-	
		$c/t = 168/50 = 3,36$	-	$< 9\epsilon = 8,32 \Rightarrow$ třída 1

Celý průřez je třída 1

B) Krajní ocelový svařovaný I průřez



Průřezové charakteristiky:

Plocha	$A_a =$	36680	mm <sup>2</sup>
Smyk. plocha	$A_{a,v} =$	8680	mm <sup>2</sup>
Moment setrvačnosti	$I_{a,y} =$	$3,3310 \cdot 10^9$	mm <sup>4</sup>
	$I_{a,z} =$	$2,8598 \cdot 10^8$	mm <sup>4</sup>

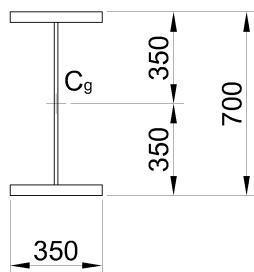
Poloměry setrvačnosti	$i_{a,y} =$	301	mm
	$i_{a,z} =$	88	mm

Plastické moduly	$W_{a,y,pl} =$	$1,0585 \cdot 10^7$	mm <sup>3</sup>
	$W_{a,z,pl} =$	$2,4804 \cdot 10^6$	mm <sup>3</sup>

Pružné moduly	$W_{a,y,el} =$	$9,5171 \cdot 10^6$	mm <sup>3</sup>
	$W_{a,z,el} =$	$1,6341 \cdot 10^6$	mm <sup>3</sup>

Moment setrvačnosti v prostém kroucení	$I_{a,t} =$	$1,5537 \cdot 10^7$	mm <sup>4</sup>
---	-------------	---------------------	-----------------

Výsečový moment setrvačnosti	$I_{a,w} =$	$3,1127 \cdot 10^{13}$	mm <sup>6</sup>
---------------------------------	-------------	------------------------	-----------------



Obr. 10 Schéma profilu krajního hlavního nosníku

Vzpěrné křivka	y-y	b	$\alpha =$	0,34	-
	z-z	c	$\alpha =$	0,49	-
Křivky klopení	$h/b \leq 2$	c	$\alpha =$	0,49	-

Zatřídění průřezu:	stojina	$\epsilon = \sqrt{235/235} = 1,0$	-	
		$c/t = 620/14 = 44,286$	-	$< 72\epsilon = 72 \Rightarrow$ třída 1
	horní pásnice	$\epsilon = \sqrt{235/235} = 1,0$	-	
		$c/t = 168/40 = 4,2$	-	$< 9\epsilon = 9 \Rightarrow$ třída 1
	dolní pásnice	$\epsilon = \sqrt{235/235} = 1,0$	-	
		$c/t = 168/40 = 4,2$	-	$< 9\epsilon = 9 \Rightarrow$ třída 1

Celý průřez je třída 1



## 5.2 Spřažený průřez

Po zatuhnutí betonové směsi působí ocelový profil spolu s touto deskou jako spřažený a to pro veškeré zatížení aplikované na konstrukci po zatvrdnutí betonové desky.

Pro jednotlivé druhy zatížení je nutno použít příslušný modul pružnosti dle příslušné normy.

### 5.2.1 Poměry modulů pružnosti

- a) Nahodilé zatížení dlouhodobé (izolační vrstvy + vrstvy chodníku) „ $n_{dl}$ “

$$t = 1 \text{ měsíc} = 1/12 \text{ let}$$

$$\varphi = 5 \cdot (1 - e^{-t^{\frac{1}{2}}})^{\frac{1}{2}} = 5 \cdot (1 - e^{-0,0833^{\frac{1}{2}}})^{\frac{1}{2}} = 2,5 \quad -$$

$$E' = \frac{1}{1+\varphi} \cdot E = \frac{1}{1+2,5} \cdot 26500 = 7571 \quad \text{MPa}$$

$$n_{dl} = E_a / E' = 210000 / 7571 = \underline{27,74} \quad -$$

- b) Nahodilé zatížení krátkodobé (zatížení chodci) „ $n_{kr}$ “

$$E_c = 26500 \quad \text{MPa}$$

$$n_{kr} = 210000 / 26500 = \underline{7,925} \quad -$$

- c) Účinky smršťování a dotvarování betonu „ $n_{sm}$ “

$$\varphi = 3,0 \quad -$$

$$E'' = \frac{E}{1+0,5\varphi} = \frac{26500}{1+0,5 \cdot 3} = 10600 \quad \text{MPa}$$

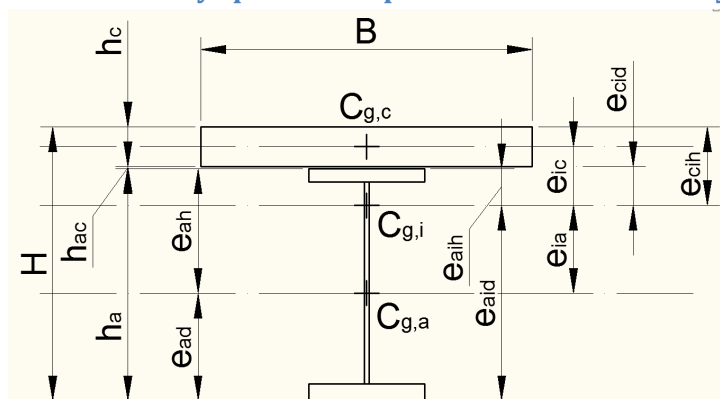
$$n_{sm} = 210000 / 10600 = \underline{19,81} \quad -$$

$$n_{dl} = 27,74 \quad -$$

$$n_{kr} = 7,925 \quad -$$

$$n_{sm} = 19,81 \quad -$$

## 5.2.2 Průřezové charakteristiky spřaženého průřezu – teorie elasticity



Obr. 11 Schéma označení rozměrů spřaženého průřezu

Jedná se o výpočet průřezových charakteristik podle teorie elasticity. Není použito označení „el“ u daných charakteristik.

Plocha betonu	$A_c =$	$B \cdot h_c$
Moment setrvačnosti	$I_{c,y} =$	$\frac{1}{12} B \cdot h_c^3$
Plocha efektivního průřezu	$A_{eff} =$	$A_a + \frac{A_c}{n}$
Těžiště efektivního průřezu	$e_{aid} =$	$\frac{[A_a \cdot e_{ad} + A_c \cdot (h_a + h_{ac} \cdot \frac{h_c}{2})]}{A_{eff}}$
	$e_{aih} =$	$h_a - e_{aid}$
	$e_{ia} =$	$e_{aid} - e_{ad}$
	$e_{ic} =$	$H - \frac{h_c}{2} - e_{aid}$
	$e_{cid} =$	$e_{ic} - \frac{h_c}{2}$
	$e_{cih} =$	$H - e_{aid}$
Moment setrvačnosti	$I_{eff} =$	$I_{a,y} + A_a \cdot e_{ia}^2 + I_{c,y} + A_c \cdot e_{ic}^2$
Moduly efektivního průřezu	$W_{a,eff,d} =$	$\frac{I_{eff}}{e_{aid}}$
	$W_{a,eff,h} =$	$\frac{I_{eff}}{e_{aih}}$
	$W_{c,eff,d} =$	$\frac{I_{eff}}{e_{cid}}$
	$W_{c,eff,h} =$	$\frac{I_{eff}}{e_{cih}}$
Napětí na průřezu	$\sigma_{a,eff,d} =$	$\frac{M_y}{W_{a,eff,d}}$
	$\sigma_{a,eff,h} =$	$\frac{M_y}{W_{a,eff,h}}$
	$\sigma_{c,eff,d} =$	$\frac{M_y}{W_{c,eff,d} \cdot n}$
	$\sigma_{c,eff,h} =$	$\frac{M_y}{W_{c,eff,h} \cdot n}$

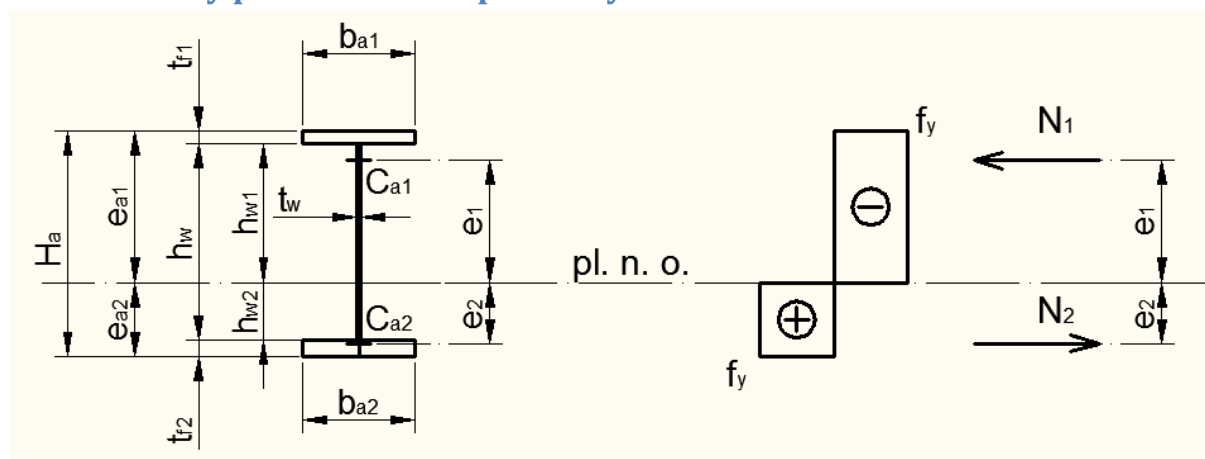
Výpočet průřezových charakteristik pro krajní a vnitřní nosníky je proveden v programu excel a přiloženy jako PŘÍLOHA 3 tohoto dokumentu.

## 6 PRŮŘEZY VZDORUJÍCÍ ZATÍŽENÍ DLE ČSN EN

### 6.1 Ocelový průřez – teorie elasticity

Viz ocelový průřez dle ČSN.

### 6.2 Ocelový průřez – teorie plasticity



Celková plocha průřezu

$$A_a = A_{f1} + A_{f2} + A_w$$

Plocha horní pásnice

$$A_{f1} = b_{a1} t_{f1}$$

Plocha dolní pásnice

$$A_{f2} = b_{a2} t_{f2}$$

Plocha stojiny

$$A_w = h_w t_w$$

Rovnováha sil na průřezu

$$N_1 = N_2 = A \cdot f_{yd} / 2$$

$$A_1 = A_2 = A / 2$$

Poloha plastické neutrálné osy

$$h_{w1} = (A_1 - A_{f1}) / t_w \Rightarrow e_{a1} = h_{w1} + t_{f1}$$

$$h_{w2} = (A_2 - A_{f2}) / t_w \Rightarrow e_{a2} = h_{w2} + t_{f2}$$

Poloha působíště sil

$$e_1 = [h_{w1}^2 t_w / 2 + A_{f1} (h_{w1} + t_{f1} / 2)] / A_1$$

$$e_2 = [h_{w2}^2 t_w / 2 + A_{f2} (h_{w2} + t_{f2} / 2)] / A_2$$

Plastická momentová únosnost

$$M_{pl,a,Rd} = N_1 e_1 + N_2 e_2 = f_{yd} (A_1 e_1 + A_2 e_2) = f_{yd} W_{pl,a,Rd}$$

Plastický modul průřezu

$$W_{pl,a,Rd} = M_{pl,a,Rd} / f_{yd}$$

Hodnoty průřezových charakteristik ocelových profilů krajního a vnitřního hlavního nosníku lze najít v PŘÍLOZE 3 tohoto dokumentu.

### 6.3 Spřažený průřez

Pro jednotlivé druhy zatížení je nutno použít příslušný modul pružnosti dle normy ČSN EN 1992-1-1 příloha B.

#### 6.3.1 Poměry modulů pružnosti

Zde bude proveden vzorový ruční výpočet součinitele dotvarování pro vnitřní nosník. Tyto výsledky lze srovnat s výpočtem z programu excel, který obsahuje i hodnoty pro krajní spřažený průřez. Tento výpočet je součástí tohoto dokumentu jako PŘÍLOHA 2.

$n_0 = E_a / E_{cm} = 210000 / 26500 =$	7,925	-
a) Součinitel dotvarování pro primární a druhotné účinky smršťování		
$t_0 =$	1	den
$t =$	36500	dní (100 let)
$\beta(t_0) = \frac{1}{(0,1 + t_0^{0,20})} = \frac{1}{(0,1 + 1^{0,20})} =$	0,909	-
$A_c =$	120000	mm <sup>2</sup>
$u = 2 \cdot B - b_f = 2 \cdot 1000 - 350 =$	1650	mm
$h_0 = \frac{2A_c}{u} = \frac{2 \cdot 120000}{1650} =$	145,5	mm
$RH =$	80	% (venkovní prostředí)
$\varphi_{RH} = 1 + \frac{1 - RH / 100}{0,1 \cdot \sqrt[3]{h_0}} = 1 + \frac{1 - 80 / 100}{0,1 \cdot \sqrt[3]{145,5}} =$	1,38	-
(pro $f_{cm} \leq 35$ MPa)		
$f_{cm} =$	24	MPa
$\beta(f_{cm}) = \frac{16,8}{\sqrt{f_{cm}}} = \frac{16,8}{\sqrt{24}} =$	3,429	-
$\varphi_0 = \varphi_{RH} \beta(f_{cm}) \beta(t_0) = 1,38 \cdot 3,429 \cdot 0,909 =$	4,301	-
$\beta_H = 1,5[1 + (0,012RH)^{18}]h_0 + 250 = 1,5[1 + (0,012 \cdot 80)^{18}] \cdot 145,5 + 250 =$	572,9	-
(pro $f_{cm} \leq 35$ MPa)		< 1500
$\beta_c(t, t_0) = \left[ \frac{(t - t_0)}{\beta_H + t - t_0} \right]^{0,3} = \left[ \frac{36500 - 1}{572,9 + 36500 - 1} \right]^{0,3} =$	0,995	-
$\varphi(t, t_0) = \varphi_0 \beta_c(t, t_0) = 4,301 \cdot 0,995 =$	4,281	-
$\psi_L =$	0,55	-
$n_{smr} = n_0 [1 + \psi_L \varphi(t, t_0)] = 7,925(1 + 0,55 \cdot 4,281) =$	26,585	-

b) Součinitel dotvarování pro ostatní stálé zatížení

$$t_0 = 30 \text{ den}$$

$$t = 36500 \text{ dní}$$

$$\beta(t_0) = \frac{1}{(0,1+t_0^{0,20})} = \frac{1}{(0,1+30^{0,20})} = 0,482 \quad -$$

$$A_c = 120000 \text{ mm}^2$$

$$u = 2 \cdot B - b_f = 2 \cdot 1000 - 350 = 1650 \text{ mm}$$

$$h_0 = \frac{2A_c}{u} = \frac{2 \cdot 120000}{1650} = 145,5 \text{ mm}$$

$$RH = 80 \quad \% \quad (\text{venkovní prostředí})$$

$$\varphi_{RH} = 1 + \frac{1-RH/100}{0,1 \cdot \sqrt[3]{h_0}} = 1 + \frac{1-80/100}{0,1 \cdot \sqrt[3]{145,5}} = 1,38 \quad -$$

(pro  $f_{cm} \leq 35 \text{ MPa}$ )

$$f_{cm} = 24 \text{ MPa}$$

$$\beta(f_{cm}) = \frac{16,8}{\sqrt{f_{cm}}} = \frac{16,8}{\sqrt{24}} = 3,429 \quad -$$

$$\varphi_0 = \varphi_{RH} \beta(f_{cm}) \beta(t_0) = 1,38 \cdot 3,429 \cdot 0,482 = 2,282 \quad -$$

$$\beta_H = 1,5[1 + (0,012RH)^{18}]h_0 + 250 = 1,5[1 + (0,012 \cdot 80)^{18}] \cdot 145,5 + 250 = 572,9 \quad -$$

(pro  $f_{cm} \leq 35 \text{ MPa}$ ) < 1500

$$\beta_c(t, t_0) = \left[ \frac{(t-t_0)}{\beta_H + t - t_0} \right]^{0,3} = \left[ \frac{36500-30}{572,9+36500-30} \right]^{0,3} = 0,995 \quad -$$

$$\varphi(t, t_0) = \varphi_0 \beta_c(t, t_0) = 2,282 \cdot 0,995 = 2,271 \quad -$$

$$\psi_L = 1,1 \quad -$$

(pro primární a druhotné účinky smršťování)

$$n_{st} = n_0[1 + \psi_L \varphi(t, t_0)] = 7,925(1 + 1,1 \cdot 2,271) = 27,722 \quad -$$

$$n_0 = 7,925$$

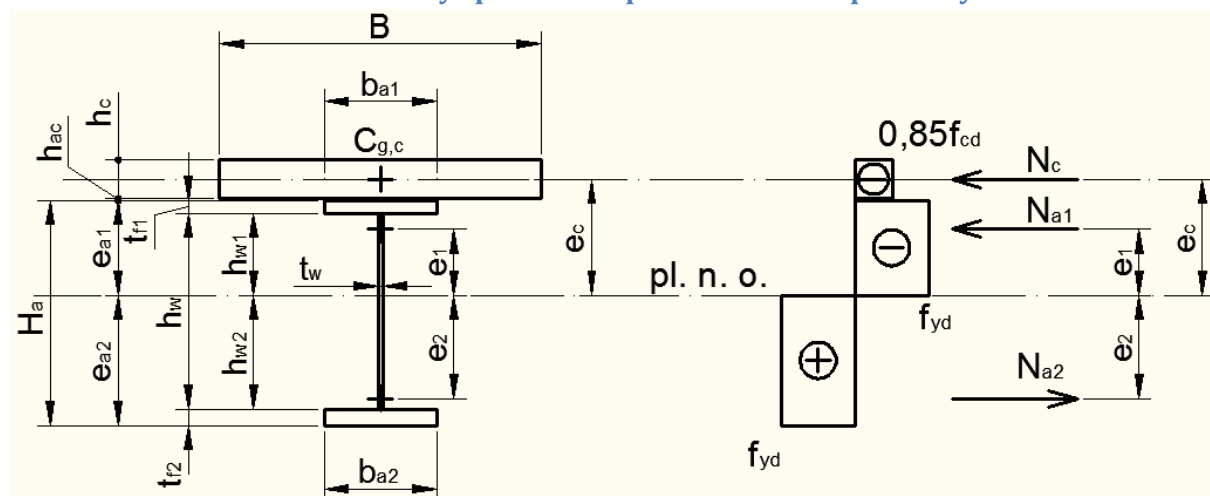
$$n_{smr} = 26,585$$

$$n_{st} = 27,722$$

### 6.3.2 Průřezové charakteristiky spráženého průřezu – teorie elasticity

Výpočet průřezových charakteristik je proveden stejným způsobem jako v případě výpočtu dle ČSN a je doložen v PŘÍLOZE 3 tohoto dokumentu.

### 6.3.3 Průřezové charakteristiky spráženého průřezu – teorie plasticity



Obr. 12 Schéma pro určení průřezových charakteristik spráženého průřezu podle teorie plasticity

Celková plocha průřezu	$A_a = A_{f1} + A_{f2} + A_w$
Plocha horní pásnice	$A_{f1} = b_{a1} t_{f1}$
Plocha dolní pásnice	$A_{f2} = b_{a2} t_{f2}$
Plocha stojiny	$A_w = h_w t_w$
Plocha betonu	$A_c = B h_c$

Síly na průřezu	$N_a = N_{a2} +  N_{a1}  = f_{yd} A_{a2} +  f_{yd} A_{a1} $
	$N_c = f_{cd} A_c$

Pozn.: Když  $N_c > N_a \Rightarrow$  plastická neutrální osa prochází betonovou částí průřezu, ocel je tažená a beton se v tahu neuvažuje (podle provedeného výpočtu toto nenastane)

$N_c < N_a \Rightarrow$  plastická neutrální osa prochází ocelovým profilem, část oceli je tažená a část tlačená (nastane pro oba hlavní nosníky, viz dále)

	$\Sigma  N_i  = N_{a2} +  N_{a1}  +  N_c $
Rovnováha sil na prutu	$0 = N_{a2} + N_{a1} + N_c$
	$N_{a2} = N_{a1} + N_c = \Sigma  N_i  / 2$

$$A_{a2} = N_{a2} / f_{yd}$$

$$A_{a1} = A_a - A_{a2}$$

Poloha plastické neutrální osy	$h_{w1} = (A_1 - A_{f1}) / t_w \Rightarrow e_{a1} = h_{w1} + t_{f1}$
	$h_{w2} = (A_2 - A_{f2}) / t_w \Rightarrow e_{a2} = h_{w2} + t_{f2}$

Poloha působíště sil	$e_1 = [h_{w1}^2 t_w / 2 + A_{f1} (h_{w1} + t_{f1} / 2)] / A_1$
	$e_2 = [h_{w2}^2 t_w / 2 + A_{f2} (h_{w2} + t_{f2} / 2)] / A_2$
	$e_c = e_{a1} + h_{ac} + h_c / 2$

Plná plastická momentová únosnost	$M_{pl,i,Rd} = N_{a1} e_1 + N_{a2} e_2 + N_c e_c$
-----------------------------------	---

Posouzení smykového spojení

$$F_{cf} = \max(F_c; F_a)$$

$$F_c = N_c = A_c f_{cd}$$

$$F_a = N_a = A_a f_{yd}$$

Smyková únosnost stahovacího trnu  $P_{Rd}$  (viz kapitola 16 tohoto dokumentu)

Nutný počet trnu pro polovinu nosníku  $n_f = F_{cf} / P_{Rd}$   
Navržený počet trnů  $n$

Poměr spřažení nosníku  $\eta = n / n_f$

Plastická únosnost spřaženého průřezu  $M_{pl,Rd} = M_{pl,a,Rd} + (M_{pl,i,Rd} - M_{pl,a,Rd})\eta$

Hodnoty průřezových charakteristik ocelových profilů krajního a vnitřního hlavního nosníku dle teorie plasticity lze najít v PŘÍLOZE 3 tohoto dokumentu.

## 7. SROVNÁNÍ PRŮŘEZOVÝCH CHARAKTERISTIK DLE ČSN A ČSN EN

### 7.1 Srovnání poměrů modulů pružnosti

Zatížení	Poměr modulů pružnosti "n"		
	ČSN	ČSN EN	
		Krajní	Vnitřní
Nahodilé/Užitné	7,9	7,9	7,9
Stálé dlouhodobé/Ostatní stálé	27,7	27,8	27,7
Účinky dotvarování a smršťování	19,8	25,0	24,9

Tabulka 4 Srovnání poměrů modulů pružnosti dle ČSN a ČSN EN

Nejvýraznější rozdíl mezi ČSN a ČSN EN je v určení poměrů modulů pružnosti pro účinky smršťování a dotvarování. Níže je podrobně znázorněn rozdíl mezi průřezovými charakteristikami efektivního průřezu při použití jednotlivých poměrů „n“.

### Vnitřní nosník

Účinek smrštění a dotvarování betonu

	ČSN	ČSN EN	
$E_a$	210000	210000	MPa
$A_a$	40040	40040	mm <sup>2</sup>
$e_{ad}$	324	324	mm
$e_{ah}$	376	376	mm
$I_{a,y}$	3,617E+09	3,617E+09	mm <sup>4</sup>

### Krajní nosník

Účinek smrštění a dotvarování betonu

	ČSN	ČSN EN	
$E_a$	210000	210000	MPa
$A_a$	36680	36680	mm <sup>2</sup>
$e_{ad}$	350	350	mm
$e_{ah}$	350	350	mm
$I_{a,y}$	3,331E+09	3,331E+09	mm <sup>4</sup>

$\varphi$	3	4,283	-
$E_c$	10600	8435	MPa
$B$	1000	1000	mm
$h_c$	115	115	mm
$A_c$	115000	115000	mm <sup>2</sup>
$e_c$	766	766	mm
$I_{c,y}$	1,267E+08	1,267E+08	mm <sup>4</sup>

$\varphi$	3	4,302	-
$E_c$	10600	8410	MPa
$B$	850	850	mm
$h_c$	115	115	mm
$A_c$	97750	97750	mm <sup>2</sup>
$e_c$	766	766	mm
$I_{c,y}$	1,077E+08	1,077E+08	mm <sup>4</sup>

$n$	19,8	24,9	-
$A_{eff}$	45848	44659	mm <sup>2</sup>
$e_{aid}$	380	370	mm
$e_{aih}$	320	330	mm
$e_{cid}$	326	336	mm
$e_{cih}$	446	456	mm

$n$	19,8	25,0	-
$A_{eff}$	41617	40595	mm <sup>2</sup>
$e_{aid}$	399	390	mm
$e_{aih}$	301	310	mm
$e_{cid}$	307	316	mm
$e_{cih}$	367	436	mm

$I_{eff}$	4,615E+09	4,432E+09	mm <sup>4</sup>
$W_{a,eff,d}$	1,214E+07	1,199E+07	mm <sup>3</sup>
$W_{a,eff,h}$	1,442E+07	1,342E+07	mm <sup>3</sup>
$W_{c,eff,d}$	1,416E+07	1,318E+07	mm <sup>3</sup>
$W_{c,eff,h}$	1,035E+07	9,712E+06	mm <sup>3</sup>

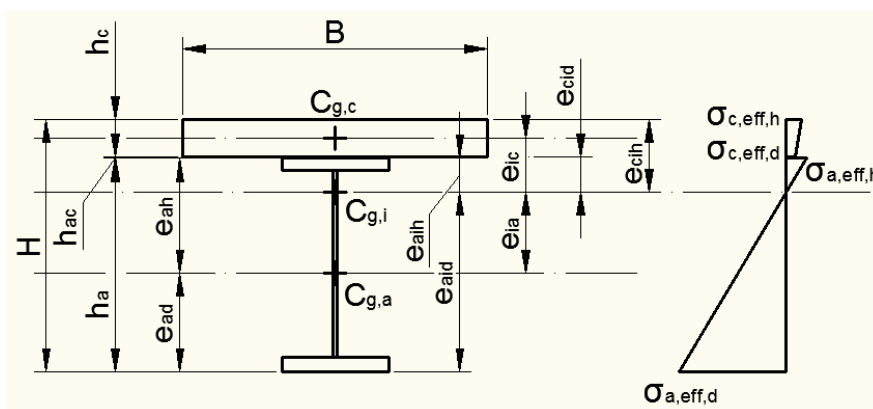
$I_{eff}$	4,089E+09	3,947E+09	mm <sup>4</sup>
$W_{a,eff,d}$	1,024E+07	1,012E+07	mm <sup>3</sup>
$W_{a,eff,h}$	1,360E+07	1,274E+07	mm <sup>3</sup>
$W_{c,eff,d}$	1,334E+07	1,250E+07	mm <sup>3</sup>
$W_{c,eff,h}$	1,115E+07	9,056E+06	mm <sup>3</sup>

Tabulka 5 Srovnání průřezových charakteristik efektivních průřezů pro účinky smršťování a dotvarování



## 7.2 Srovnání průřezových charakteristik – teorie elasticity

Efektivní průřezy vnitřního nosníku:



Obr. 13 Schéma průběhu napětí na spázaném průřezu

$$\sigma_{c,eff,i} = M_i / (n_i W_{c,eff,i})$$

$$\sigma_{a,eff,i} = M_i / W_{a,eff,i}$$

Norma/Pružný modul efektivního průřezu	ČSN	ČSN EN	
$W_{a,eff,d}$	1,192E+07	1,192E+07	mm <sup>3</sup>
$W_{a,eff,h}$	1,303E+07	1,302E+07	mm <sup>3</sup>
$W_{c,eff,d}$	1,280E+07	1,279E+07	mm <sup>3</sup>
$W_{c,eff,h}$	9,461E+06	9,460E+06	mm <sup>3</sup>

Tabulka 6 Průřezové charakteristiky pro stálé dlouhodobé/ostatní stálé zatížení

Norma/Pružný modul efektivního průřezu	ČSN	ČSN EN	
$W_{a,eff,d}$	1,294E+07	1,294E+07	mm <sup>3</sup>
$W_{a,eff,h}$	2,215E+07	2,211E+07	mm <sup>3</sup>
$W_{c,eff,d}$	2,165E+07	2,161E+07	mm <sup>3</sup>
$W_{c,eff,h}$	1,489E+07	1,486E+07	mm <sup>3</sup>

Tabulka 7 Průřezové charakteristiky pro nahodilé/užitné zatížení

Norma/Pružný modul efektivního průřezu	ČSN	ČSN EN	
$W_{a,eff,d}$	1,214E+07	1,199E+07	mm <sup>3</sup>
$W_{a,eff,h}$	1,442E+07	1,342E+07	mm <sup>3</sup>
$W_{c,eff,d}$	1,416E+07	1,318E+07	mm <sup>3</sup>
$W_{c,eff,h}$	1,035E+07	9,712E+06	mm <sup>3</sup>

Tabulka 8 Průřezové charakteristiky pro účinky dotvarování a smršťování

Efektivní průřezy krajního nosníku:

Norma/Pružný modul efektivního průřezu	ČSN	ČSN EN	
$W_{a,eff,d}$	1,007E+07	1,007E+07	mm <sup>3</sup>
$W_{a,eff,h}$	1,242E+07	1,240E+07	mm <sup>3</sup>
$W_{c,eff,d}$	1,218E+07	1,217E+07	mm <sup>3</sup>
$W_{c,eff,h}$	8,856E+06	8,848E+06	mm <sup>3</sup>

Tabulka 9 Průřezové charakteristiky pro stálé dlouhodobé/ostatní stálé zatížení

Norma/Pružný modul efektivního průřezu	ČSN	ČSN EN	
$W_{a,eff,d}$	1,087E+07	1,087E+07	mm <sup>3</sup>
$W_{a,eff,h}$	2,018E+07	2,015E+07	mm <sup>3</sup>
$W_{c,eff,d}$	1,970E+07	1,967E+07	mm <sup>3</sup>
$W_{c,eff,h}$	1,333E+07	1,331E+07	mm <sup>3</sup>

Tabulka 10 Průřezové charakteristiky pro nahodilé/užitné zatížení

Norma/Pružný modul efektivního průřezu	ČSN	ČSN EN	
$W_{a,eff,d}$	1,024E+07	1,012E+07	mm <sup>3</sup>
$W_{a,eff,h}$	1,360E+07	1,274E+07	mm <sup>3</sup>
$W_{c,eff,d}$	1,334E+07	1,250E+07	mm <sup>3</sup>
$W_{c,eff,h}$	1,115E+07	9,056E+06	mm <sup>3</sup>

Tabulka 11 Průřezové charakteristiky pro účinky dotvarování a smršťování

## 8. ZATÍŽENÍ LÁVKY DLE ČSN 73 6203

Veškeré zatížení je převzato z původního statického výpočtu vypracovaného společností Vítkovice, železářny a strojířny Klementa Gotwalda, pobočka Frýdek-Místek v roce 1988.

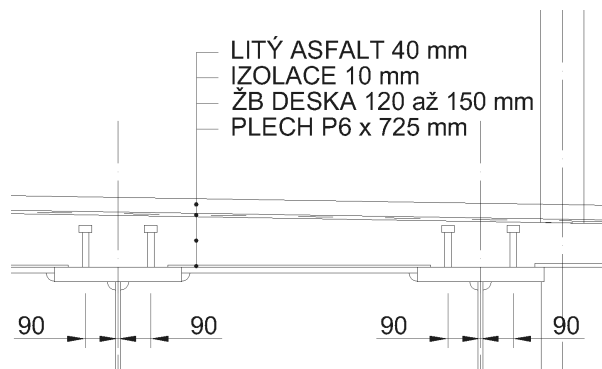
### 8.1 Zatížení stálá

Druh zatížení	Rozměr [mm]	Objemová tíha [kN/m <sup>3</sup> ]	Normové zatížení [kN/m <sup>2</sup> ]	Součinitel zatížení [-]	Výpočtové zatížení [kN/m <sup>2</sup> ]	Typ zatížení	Σ Norm.	Σ Výp.
Litý asfalt	40	22	0,88	1,5	1,32	Nahodilé dlouhodobé	1,03	1,52
Izolace	10	15	0,15	1,3	0,2			
ŽB deska	150	25	3,75	1,1	4,13	Základní	4,27+ 7%= 4,57	5,03
Ostatní ocel	6	78,5	0,52	1,1	0,57			
Nosná OK	-	78,5	-	1,1	-			

Tabulka 12 Zatížení stálým zatížením původní

Pozn.: Základní zatížení je zvýšeno o 7% připadajících na ostatní zatížení konstrukce lávky, přídatnou ocel a jiné.

Nosná konstrukce OK je v programu Scia Engineer 2013.0 generována automaticky dle zvolených průřezů konstrukce.

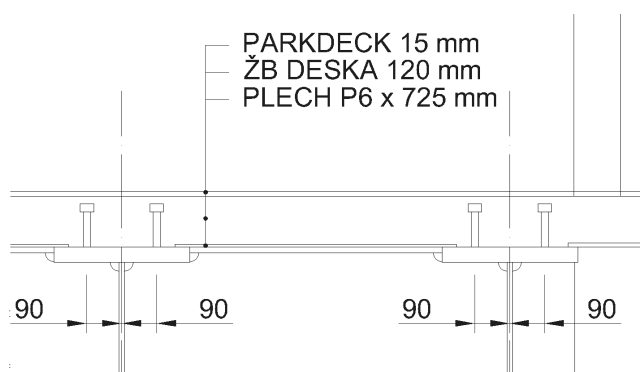


Obr. 14 Schéma - stará skladba

Zatížení „základní“ .....	přenáší ocelový průřez	pro srovnání	základní= $g_0+g_1$
Zatížení „dlouhodobé“ .....	přenáší spřažený průřez ( $n_{dl}$ )		dlouhodobé= $g_2$

Druh zatížení	Rozměr [mm]	Objemová tíha [kN/m <sup>3</sup> ]	Normové zatížení [kN/m <sup>2</sup> ]	Součinitel zatížení [-]	Výpočtové zatížení [kN/m <sup>2</sup> ]	Typ zatížení	Σ Norm.	Σ Výp.
Parkdeck asphalt. vrstva	15	25	0,375	1,5	0,563	Nahodilé dlouhodobé	0,375	0,563
ŽB deska	120	25	3,0	1,1	3,3	Základní	3,52+ 7%= 3,77	4,14
Ostatní ocel (+ 10%)	6*1,1	78,5	0,52	1,1	0,57			
Nosná OK	-	78,5	-	1,1	-			

Tabulka 13 Zatížení stálým zatížením skladba po rekonstrukci



Obr. 15 Schéma - nová skladba

Zatížení stálé, od nosné ocelové konstrukce je generováno programem Scia Engineer 2013.0 podle zvolených profilů.

Ostatní stálé zatížení a dlouhodobé nahodilé zatížení jsou modelovány jako plošné zatížení pomocí generátoru rovinného zatížení.

## 8.2 Nahodilé zatížení krátkodobé

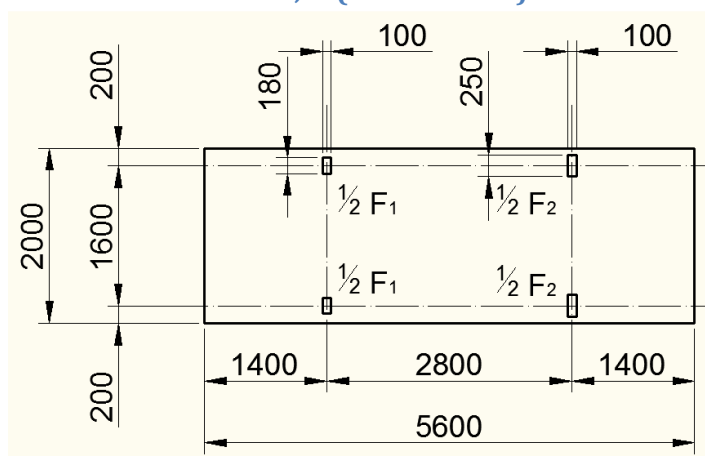
Zatížení od užívání konstrukce jsou přenášena spřaženým průřezem. Zatížitelná šířka mostu pro nahodilá krátkodobá zatížení  $B = 3,5$  m.

### 8.2.1 Rovnoměrné zatížení (ČSN 73 6203)

Dle ČSN 73 6203:	$q_n =$	4,0	kN/m <sup>2</sup>	(normová hodnota)
	$\gamma =$	1,4	-	
	$q_v =$	5,6	kN/m <sup>2</sup>	(výpočtová hodnota)
	$\delta =$	1,18	-	(dynamický součinitel pro $L = 33,6$ m)
	$\delta q_v =$	6,61	kN/m <sup>2</sup>	

Vodorovné účinky:	$q_{n,h} = 0,05 q_n =$	0,2	kN/m <sup>2</sup>
	$\gamma =$	1,4	-
	$q_{v,h} =$	0,28	kN/m <sup>2</sup>

### 8.2.2 Lehké nákladní auto hmotnosti 2,5t (ČSN 73 6203)



Obr. 16 Geometrie lehkého nákladního vozidla do 2,5t

	Roznášecí plocha [m <sup>2</sup> ]	Normová hodnota zatížení $Q_n$ [kN]	Součinitel zatížení	Dynamický součinitel $\delta$	Výpočtová hodnota zatížení [kN]
$\frac{1}{2} F_1$	0,018	5	1,4	1,05	7,35
$\frac{1}{2} F_2$	0,025	7,5			11,025

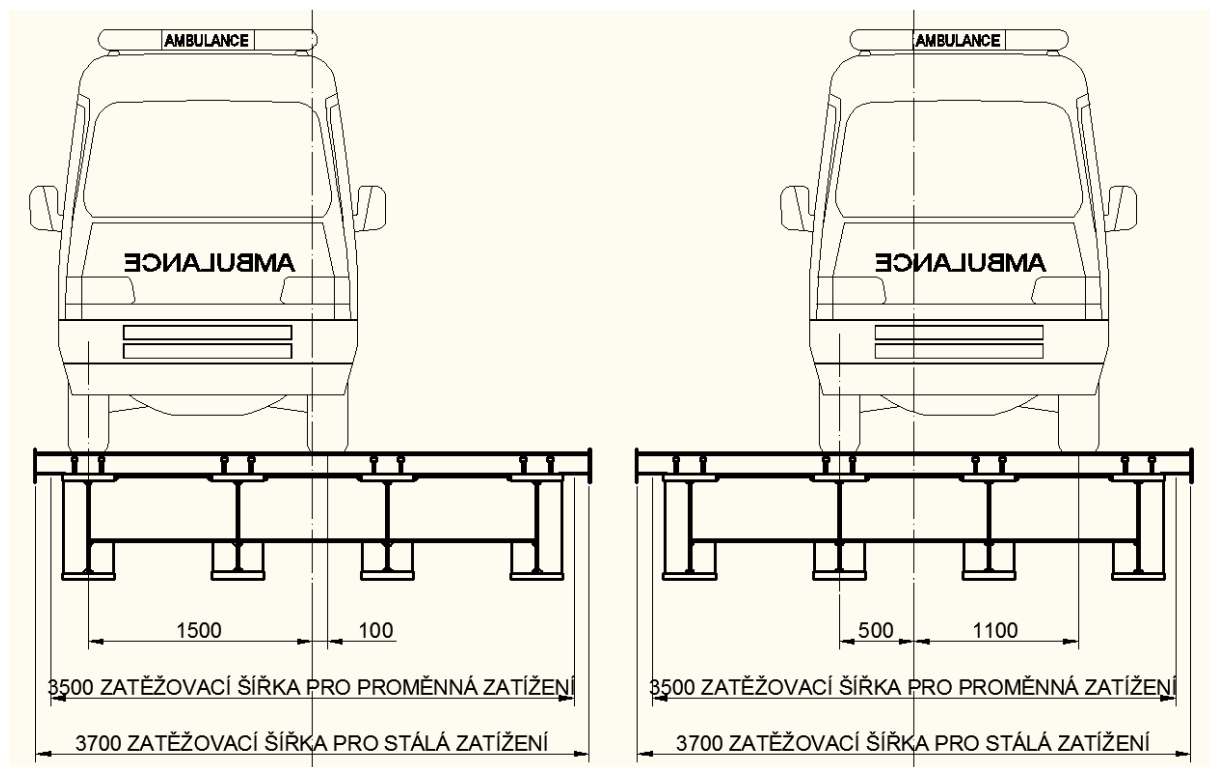
Tabulka 14 Kolové síly pro lehké vozidlo do 2,5t

Vodorovné účinky se berou jako 15% ze svislé složky zatížení.

Lehké nákladní vozidlo je doplněno o rovnoměrné zatížení mimo obrysovou plochu vozidla.

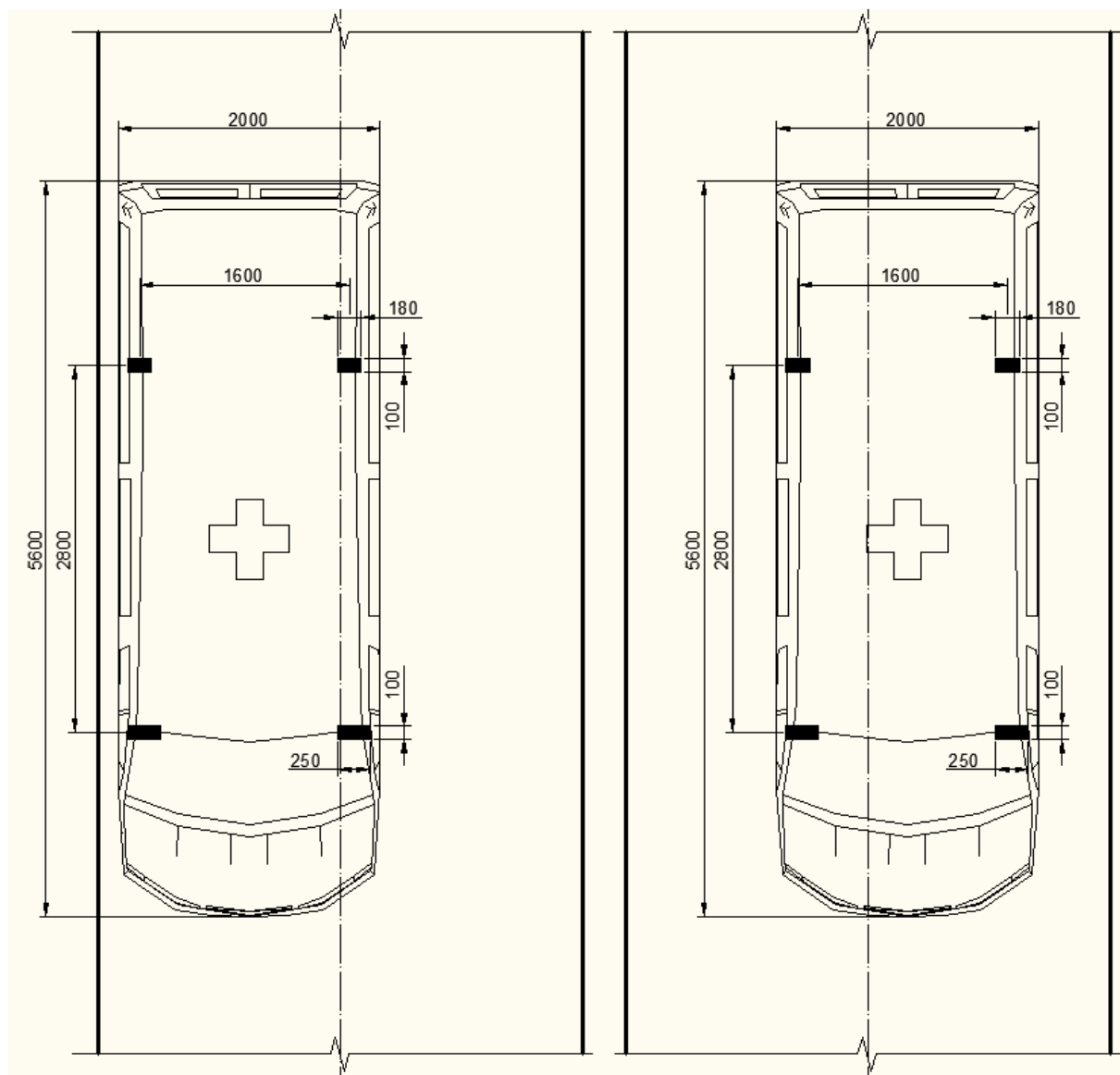
Umístění vozidla pro vyvození maximálního ohybového momentu:

- Umístění v příčném řezu  
Dvojice sil (kola na jedné straně vozu) jsou umístěna na osu krajního nebo vnitřního nosníku, aby jej zatěžovaly plným kolovým zatížením.



Obr. 17 Umístění lehkého nákladního vozidla v příčném řezu pro vyvození největších ohybových momentů na jednotlivých hlavních nosnících

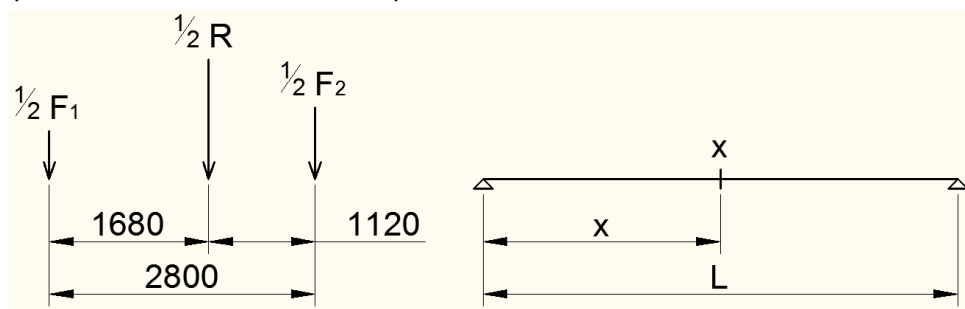
Jednotlivé kolové síly jsou modelovány jako liniová zatížení na délku 0,1 m. Rozdělení zatížení od kola ležícího mezi hlavními nosníky je provedeno lineárně. Zatížení od vozidla je doplněno o zatížení chodci mimo obrys tohoto vozidla.



Obr. 18 Půdorys umístění lehkého nákladního vozidla na lávce

- Umístění v podélném směru

Pro umístění vozidla na lávce je využito Winklerovo kritérium pro vyvození nejvyššího ohybového momentu na řešeném prvku.



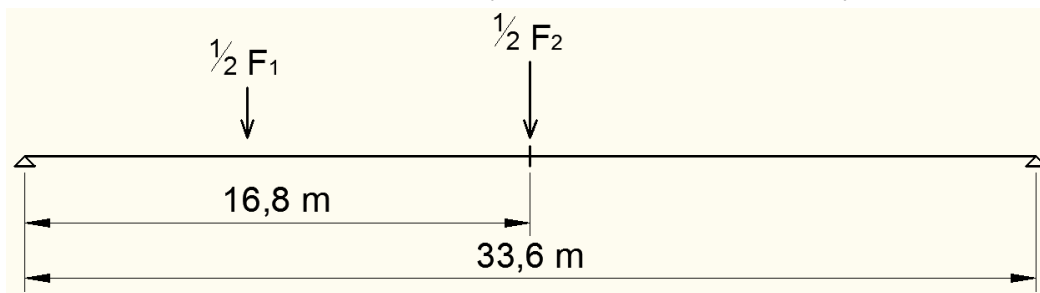
Obr. 19 Schéma lehkého nákladního vozidla pro aplikaci Winklerova kritéria

Kolové síly (břemena):	$1/2 F_1 =$	5	kN
	$1/2 F_2 =$	7,5	kN
Výslednice sil	$1/2 R =$	12,5	kN

Rozpětí nosníku	$L =$	33,6	m
Řešený průřez	$x =$	16,8	m (L/2)

Winklerovo kritérium  $R \cdot x / L = 12,5 \cdot 16,8 / 33,6 = 6,25$  kN

Určení kritického břemene  $F_1 + \dots + F_i > R \cdot x / L$   
 $F_1 = 5$  kN < 6,25 kN  
 $F_1 + F_2 = 12,5$  kN > 6,25 kN  
 $\Rightarrow$  síla  $F_2$  je kritické břemeno a bude umístěna do řezu x pro dosažení maximálního ohybového momentu



Obr. 20 Umístění kolových sil na lávce pro vyvození maximálních ohybových momentů



## 8.3 Klimatická zatížení

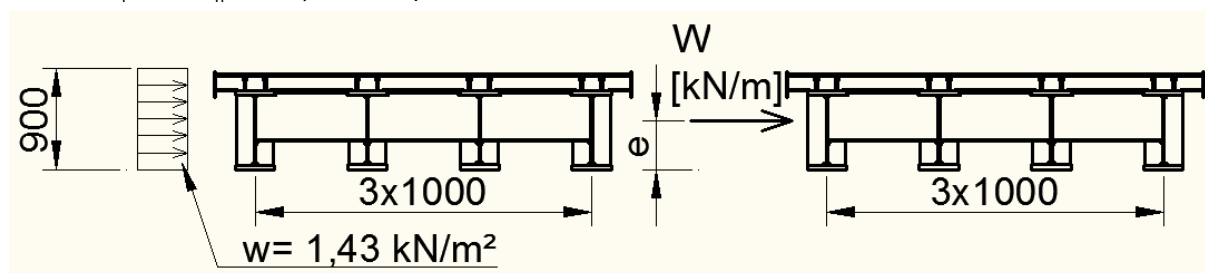
### 8.3.1 Zatížení větrem

Větrová oblast IV dle ČSN 73 0035

Výška nad terénem  $h < 10$  m

#### A) Nezatížená lávka

- $c_w = 2,0$  -
- $w_n = 1,10$  kN/m<sup>2</sup>
- $n = 1,30$  -
- $w_r = w_n \cdot n = 1,43$  kN/m<sup>2</sup>



Obr. 21 Schéma zatížení větrem - nezatížená lávka

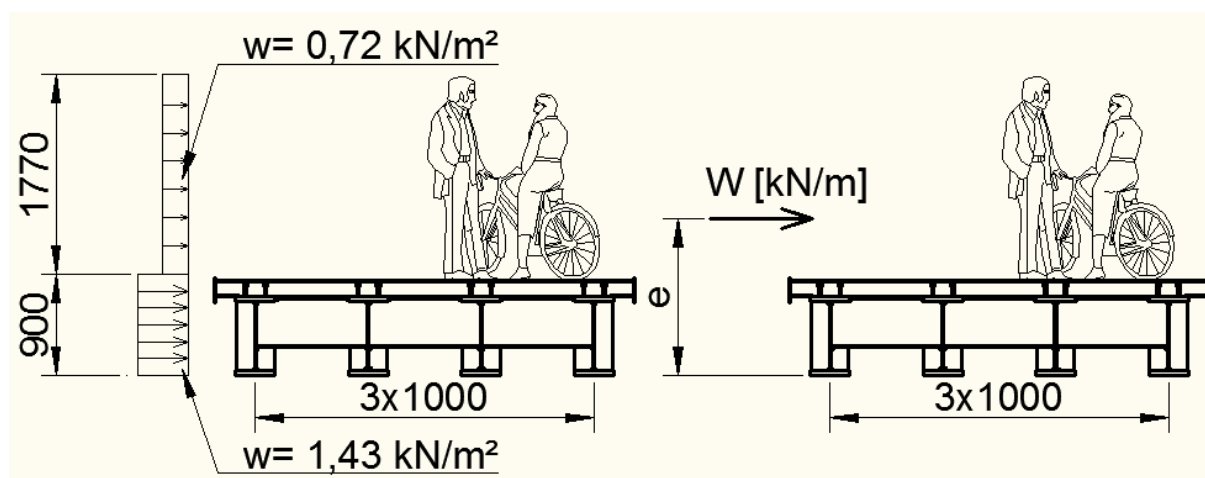
- Náhradní liniové zatížení  $W_n = 0,9 \cdot w_n = 0,9 \cdot 1,1 = 0,99$  kN.m<sup>-1</sup>  
 $W_r = W_n \cdot n = 0,99 \cdot 1,3 = 1,287$  kN.m<sup>-1</sup>
- Excentricita  $e = 0,45$  m

#### B) Zatížení lávky

Zatížení na vlastní lávku viz bod A ( $c_w = 2,0$  -)

Zatížení na pás pohyblivého zatížení:

- $c_w = 1,0$  - (pás pohyblivého zatížení)
- $w_n = 0,55$  kN/m<sup>2</sup>
- $n = 1,30$  -
- $w_r = w_n \cdot n = 0,72$  kN/m<sup>2</sup>



Obr. 22 Schéma zatížení větrem - zatížená lávka

- Náhradní liniové zatížení  $W_n = 0,9 \cdot 1,1 + 1,77 \cdot 0,55 = 1,964 \text{ kN.m}^{-1}$   
 $W_r = W_n \cdot n = 1,964 \cdot 1,3 = 2,553 \text{ kN.m}^{-1}$
- Excentricita  $e = (0,9 \cdot 1,1 \cdot 0,45 + 1,77 \cdot 0,55 \cdot 1,785) / 1,964 = 1,112 \text{ m}$

C) Svislá zatížení od větru (tlak, sání)

- $c_w = 1,5$  -
- $w_n = \pm 0,825 \text{ kN/m}^2$
- $n = 1,30$  -
- $w_r = w_n \cdot n = \pm 1,073 \text{ kN/m}^2$  [dle ČSN 73 6203, 133.]

### 8.3.2 Účinky teplotních změn

Dle ČSN 73 6203:  $t_{\max} = +50 \text{ } ^\circ\text{C}$   
 $t_{\min} = -35 \text{ } ^\circ\text{C}$

Konstrukce vystavena slunění.

### 8.4 Zatížení zábradlí

Dle ČSN 73 6203:

- svislé  $q_{z,n} = 1,0 \text{ kN/m}$  (normová hodnota zatížení)  
 $n = 1,2$  -  
 $q_{z,v} = 1,2 \text{ kN/m}$  (výpočtová hodnota zatížení)
- vodorovné  $q_{z,n} = 1,0 \text{ kN/m}$  (normová hodnota zatížení)  
 $n = 1,2$  -  
 $q_{z,v} = 1,2 \text{ kN/m}$  (výpočtová hodnota zatížení)

## 9. ZATÍŽENÍ LÁVKY DLE ČSN EN

V této části jsou stanoveny charakteristické účinky zatížení lávky pro pěší. Kombinace zatížení pro mezní stavy jsou udány v kapitole 9.

### 9.1 Stálá zatížení

Stálá zatížení nutno rozdělit do několika fází:

Druh zatížení	Rozměr [mm]	Objem. tíha [kN/m <sup>3</sup> ]	Char. zatížení [kN/m <sup>2</sup> ]	Souč. zatížení [-]	Návrhové zatížení [kN/m <sup>2</sup> ]	Označ.	Σ Char. [kN/m <sup>2</sup> ]	Σ Návrh.
Litý asfalt	40	22	0,88	1,35	1,19	Ostatní stálé g <sub>2</sub>	1,03	1,40
Izolace	10	15	0,15	1,35	0,21			
ŽB deska	150	25	3,75	1,35	5,07	g <sub>1</sub>	4,27+ 7%= 4,57	6,17
Ostatní ocel	6	78,5	0,52	1,35	0,7			
Nosná OK	-	78,5	-	1,35	-	g <sub>0</sub>	-	-

Tabulka 15 Zatížení stálým zatížením - stará skladba

Vlastní váha/tíha hlavních prvků nosné konstrukce „g<sub>0</sub>“ (hl. nosníky a příčníky) je v programu Scia Engineer 2013.0 generována automaticky podle zvolených průřezů.

Druh zatížení	Rozměr [mm]	Objem. tíha [kN/m <sup>3</sup> ]	Char. zatížení [kN/m <sup>2</sup> ]	Souč. zatížení [-]	Návrhové zatížení [kN/m <sup>2</sup> ]	Označ.	Σ Char.	Σ Návrh.
Parkdeck asfalt. vrstva	15	25	0,38	1,35	0,51	Ostatní stálé g <sub>2</sub>	0,38	0,51
ŽB deska	120	25	3	1,35	4,05	g <sub>1</sub>	3,52+ 7%= 3,77	5,09
Ostatní ocel	6	78,5	0,52	1,35	0,7			
Nosná OK	-	78,5	-	1,35	-	g <sub>0</sub>	-	-

Tabulka 16 Zatížení stálým zatížením – nová skladba

g<sub>0</sub>+g<sub>1</sub> přenáší ocelový svařovaný profil

g<sub>2</sub> přenáší spřažený profil

## 9.2 Proměnná zatížení dopravou

Zatížení od užívání konstrukce jsou přenášena spřaženým průřezem. Zatížitelná šířka mostu pro proměnné zatížení  $B = 3,5$  m.

### 9.2.1 Zatížení chodci

Modely zatížení dle ČSN EN 1991-2 zahrnují dynamické účinky – pokud není uvedeno jinak, veškeré odkazy u vzorců a normových hodnot v této podkapitole se odkazují na tuto normu.

Sestavy zatížení dle ČSN EN 1991-2:

$$\begin{aligned} gr1 & q_{fk} + Q_{f1k} \\ gr2 & Q_{serv} + Q_{f1k} \end{aligned}$$

$q_{fk}$ ..... charakteristická hodnota svislého rovnoměrného zatížení na chodnících nebo lávkách pro chodce

$Q_{f1k}$ ..... charakteristická hodnota vodorovné síly na lávce pro chodce

$Q_{serv}$ ... model zatížení odpovídající obslužnému vozidlu pro lávky pro chodce

$$\gamma_Q = 1,50 \quad -$$

- Svislé zatížení  $q_{fk}$

$$L = 33,6 \quad m$$

$$q_{fk} = 2,0 + 120/(L+30) = 2,0 + 120/63,6 = 3,89 \quad kN/m^2 \quad [dle 5.3.2.1 (5.1)]$$

$$q_{fk} = 5,0 \quad kN/m^2 \quad [Dav lidí dle 4.3.5 (1)]$$

- Soustředěné zatížení  $Q_{fwk}$

$$Q_{fwk} = 10 \quad kN \quad [dle 5.3.2.2 (1)]$$

$$A_{fwk,0} = 0,1 * 0,1 = 0,01 \quad m^2$$

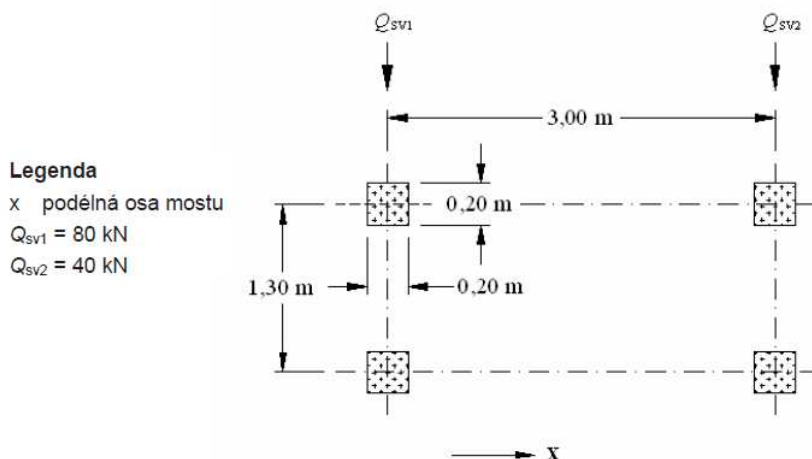
- Vodorovné zatížení  $Q_{f1k}$

$$Q_{f1k} = 0,1 * (q_{fk} * L * B) = 0,1 * (5,0 * 33,6 * 3,34) = 56,112 \quad kN \quad [dle 5.4 (2)]$$

$$(0,5 \quad kN/m^2)$$

### 9.2.2 Mimořádný výskyt vozidla na lávce

Není konstrukčně bráněno vjezdu vozidla na lávku z jedné strany, nutno tedy uvažovat možnost mimořádného výskytu vozidla. S tímto vozidlem se nemá uvažovat žádné proměnné zatížení. Použití pro mimořádnou návrhovou situaci.



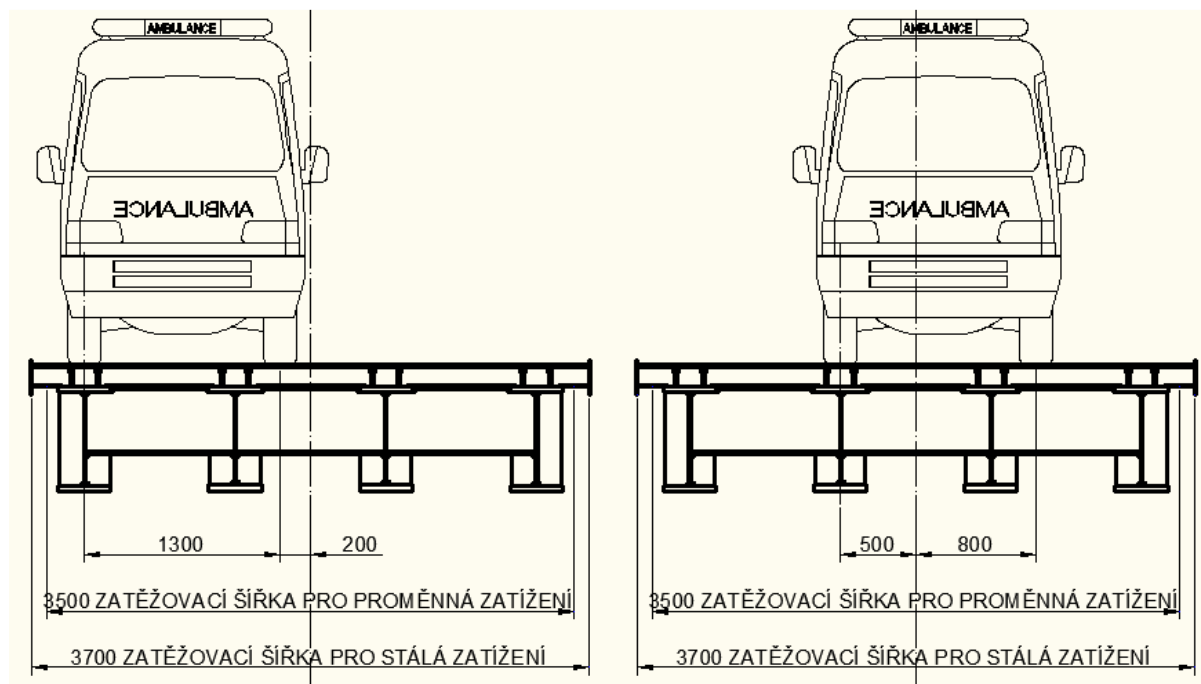
Obr. 23 Schéma geometrie vozidla

- Svislé zatížení  
 $Q_{sv1} = 2 \cdot 40 = 80 \text{ kN}$   
 $Q_{sv2} = 2 \cdot 20 = 40 \text{ kN}$   
 $A_0 = 0,2 \cdot 0,2 = 0,04 \text{ m}^2$
- Vodorovné zatížení (pro jednu řadu kol ve směru x)  
 $Q_H = 0,6 \cdot \Sigma Q_{svi} = 2 \cdot [0,6 \cdot (40 + 20)] = 36 \text{ kN}$

Výskyt vozidla na lávce je brán jako mimořádná návrhová situace.

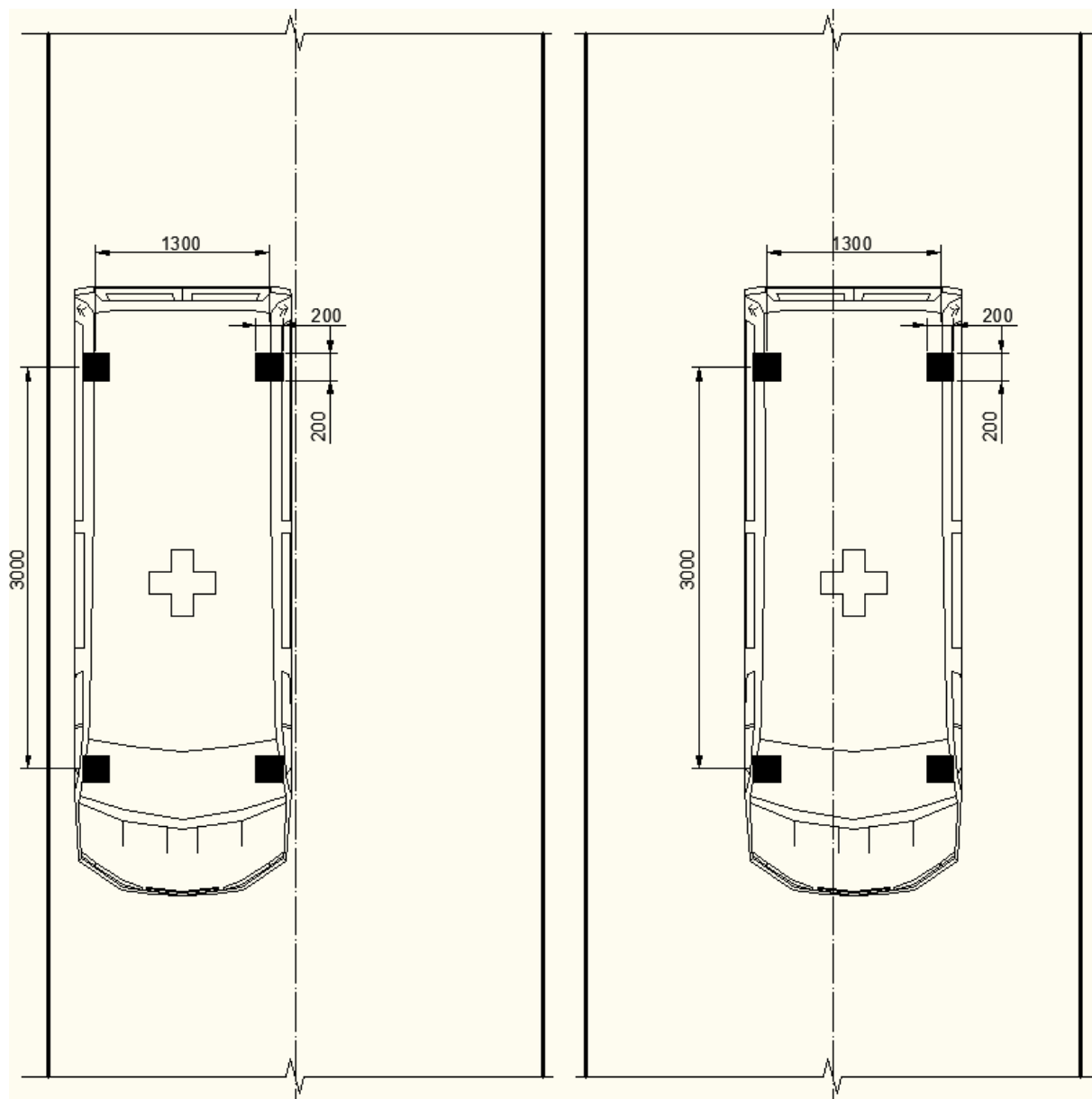
Umístění vozidla pro vyvození maximálního ohybového momentu:

- Umístění v příčném řezu  
Dvojice sil (kola na jedné straně vozu) jsou umístěna na osu krajního nebo vnitřního nosníku, aby jej zatěžovaly plným kolovým zatížením.



Obr. 24 Schéma umístění vozidla v příčném řezu pro vyvození maximálního ohybového momentu pro daný hlavní nosník

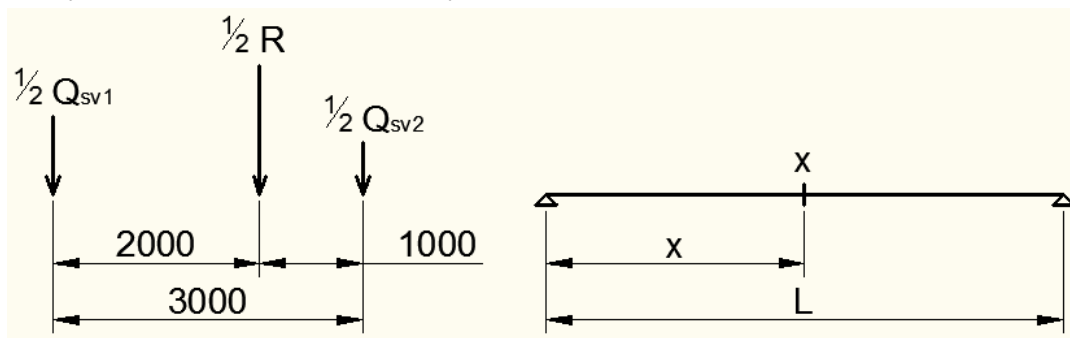
Jednotlivé kolové síly jsou modelovány jako liniová zatížení na délku 0,2 m. Rozdělení zatížení od kola ležícího mezi hlavními nosníky je provedeno lineárně.



Obr. 25 Půdorys umístění vozidla na lávce

- Umístění v podélném směru

Pro umístění vozidla na lávce je využito Winklerovo kritérium pro vyvození nejvyššího ohybového momentu na řešeném prvku.

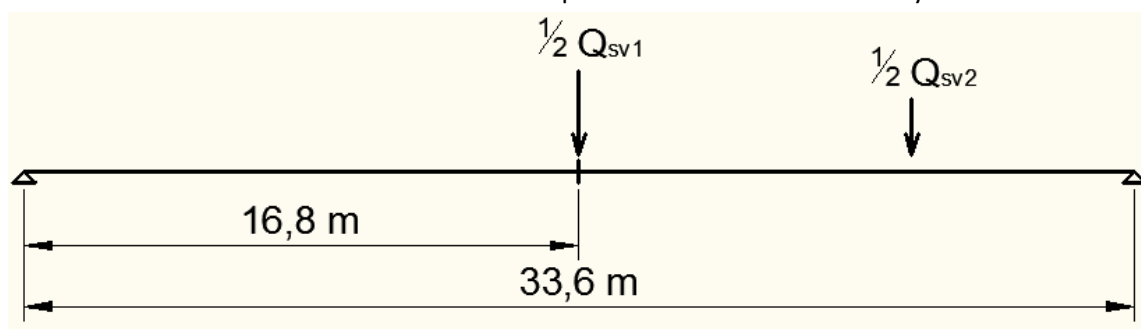


Obr. 26 Schéma vozidla pro aplikaci Winklerova kritéria

Kolové síly (břemena):	$1/2 Q_{sv1} =$	40	kN
	$1/2 Q_{sv2} =$	20	kN
Výslednice sil	$1/2 R =$	60	kN
Rozpětí nosníku	$L =$	33,6	m
Řešený průřez	$x =$	16,8	m (L/2)

Winklerovo kritérium  $R \cdot x / L = 60 \cdot 16,8 / 33,6 = 30$  kN

Určení kritického břemene  $Q_{sv1} + \dots + Q_{svi} > R \cdot x / L$   
 $Q_{sv1} = 40 \text{ kN} > 30 \text{ kN}$   
 $\Rightarrow$  síla  $Q_{sv1}$  je kritické břemeno a bude umístěna do řezu  $x$  pro dosažení maximálního ohybového momentu



Obr. 27 Schéma umístění kolových sil pro vyvození maximálního ohybového momentu

### 9.2.3 Rekapitulace zatížení od dopravy

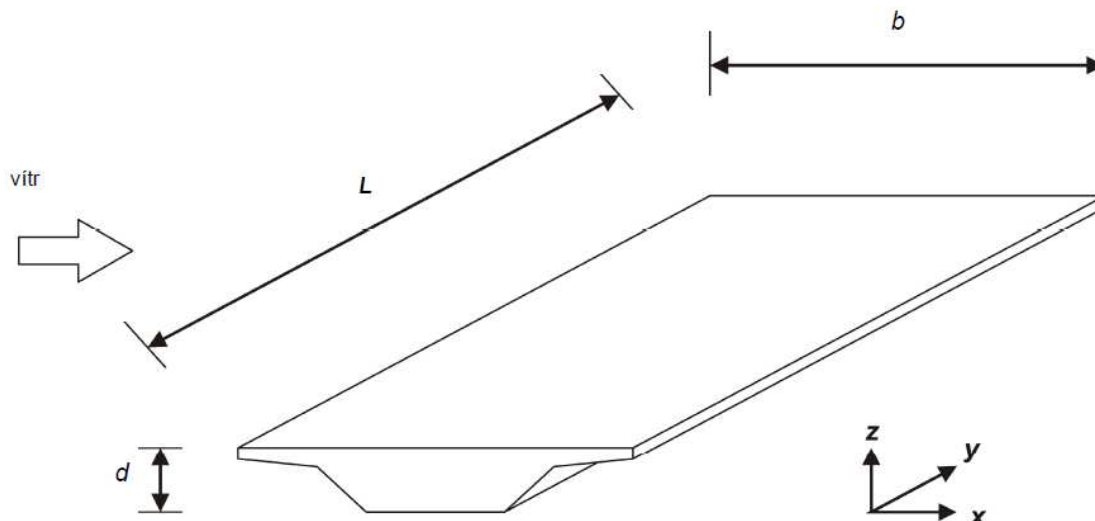
Sestava zatížení	Zatížení		Charakter. zatížení		Součinitel zatížení	Návrhové zatížení	
gr1	$q_{fk}$		5,0	$\text{kN} \cdot \text{m}^{-2}$	1,5	7,5	$\text{kN} \cdot \text{m}^{-2}$
	$q_{flk}$		0,5	$\text{kN} \cdot \text{m}^{-2}$		0,75	$\text{kN} \cdot \text{m}^{-2}$
gr2	$Q_{serv}$	$Q_{sv1}$	80	kN	1,0	80	kN
		$Q_{sv2}$	40	kN		40	kN
	$Q_{flk}$	$Q_H$	72	kN		72	kN



## 9.3 Klimatická zatížení

### 9.3.1 Zatížení větrem

ČSN EN 1991-1-4 ed. 2



Obr. 28 Schéma rozměrů lávky (převzato z ČSN EN 1991-1-4 ed. 2)

Zatížení od větru na nosnou konstrukci je stanoveno dle ČSN EN 1991-1-4 ed. 2 – pokud není uvedeno jinak, veškeré odkazy u vzorců a obrázků v této podkapitole se odkazují na tuto normu. Referenční plocha pro vítr ve směru x bude zvětšena vlivem přítomnosti osob na mostě (výška osoby 1,8 m).

- Základní rychlost větru  $v_b$

$$v_{b,0} = \text{větrná oblast II} = 25,0 \text{ m/s}$$

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 25,0 = \underline{25,0 \text{ m/s}}$$

- Referenční výška  $z_e$

Referenční výška je rovna maximální výšce konstrukce nad běžnou hladinou překonávané řeky.

$$z_e = 4,2 \text{ m}$$

- Kategorie terénu III

$$z_0 = 0,3 \text{ m}$$

$$z_{min} = 5 \text{ m}$$

- Součinitel drsnost terénu  $c_r(z)$

$$z < z_0 \Rightarrow c_r(z) = c_r(z_{min})$$

$$c_r(z_{min}) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z_{min}}{z_0}\right) = 0,198 \cdot \ln\left(\frac{5}{0,3}\right) = \underline{0,557} \quad [\text{dle 4.3.2 (4.4)}]$$

$$k_r = 0,19 \cdot \left(\ln \frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0,07} = 0,19 \cdot \left(\ln \frac{0,3}{0,05}\right)^{0,07} = \underline{0,198} \quad [\text{dle 4.3.2 (4.5)}]$$

- Součinitel orografie  $c_o(z)$   
 $c_o(z) = 1,0$  - [dle 4.3.3]
- Střední rychlost větru  $v_m(z)$   
 $v_m(z) = c_r(z) \cdot c_o(z) \cdot v_b = 0,557 \cdot 1,0 \cdot 25 =$  13,93 m.s<sup>-1</sup> [dle 4.3.1 (4.3)]
- Intenzita turbulence větru  $I_v$   
 $z < z_{min} \Rightarrow I_v(z) = I_v(z_{min})$   
 $I_v(z) = \frac{\sigma_v}{v_m(z)} = \frac{k_I}{c_o(z) \cdot \ln(z_{min}/z_0)} = \frac{1,0}{1,0 \cdot \ln(5,0/0,3)} =$  0,355 - [dle 4.4 (4.7)]  
 $k_I = 1,0$  - [dle NA.2.16]
- Základní dynamický tlak větru  $q_b$   
 $q_b = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2 = \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 25^2 =$  390,625 Pa [dle 4.5 (4.10)]
- Maximální dynamický tlak  $q_p$   
 $q_p(z) = [1 + 7I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z) =$   
 $= (1 + 7 \cdot 0,355) \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 13,93^2 =$  422,654 Pa [dle 4.5 (1)]  
 $q_p(z) = 0,423 \text{ kN.m}^{-2}$
- Součinitel konstrukce  $c_s c_d$   
Pro obvyklé hlavní nosné konstrukce mostů pozemních komunikací a železničních mostů s rozpětím menším než 40 m není nutný dynamický výpočet odevzy.  
[dle 8.2 POZNÁMKA 3]  
Jestliže není nutný dynamický výpočet odevzy lze součinitel  $c_s c_d$  brát roven 1,0.  
[dle 8.2 POZNÁMKA 2]  
 $c_s c_d = 1,0$  -

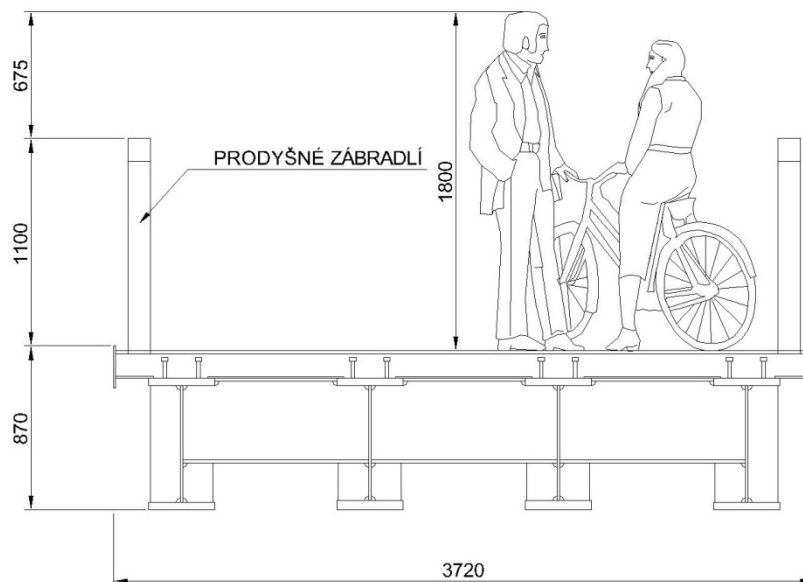
### 9.3.1.1 Součinitel síly pro konstrukce nebo nosné prvky – nezatížená lávka

- Stanovení součinitele  $c_{f,x}$

$$c_{f,x} = c_{f,x,0}$$

[dle 8.3.1 (8.1)]

$c_{f,x,0}$ ... součinitel síly bez vlivu proudění kolem volných konců



Obr. 29 Schéma příčného řezu lávky pro zatížení větrem

$$b = 3,72 \text{ m}$$

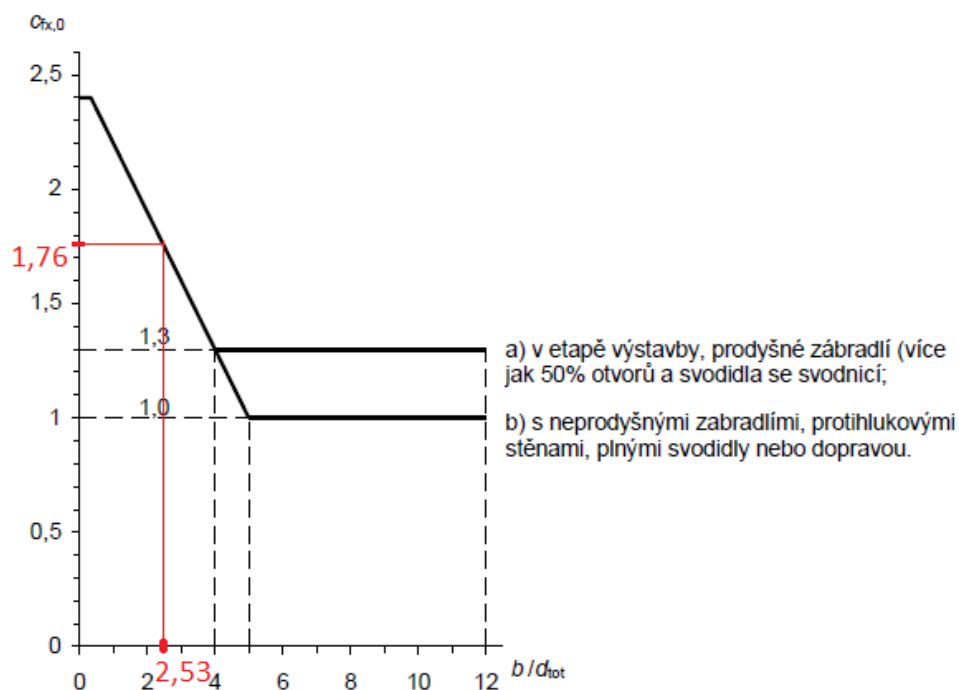
$$d = 0,87 \text{ m}$$

$$d_{\text{tot}} = d + 0,6 = 0,87 + 0,6 = 1,47 \text{ m}$$

[dle 8.3.1 Tabulka 8.1]

$$b/d_{\text{tot}} = 3,72/1,47 = 2,53 \quad \Rightarrow \quad c_{f,x,0} = 1,76$$

[dle 8.3.1 Obrázek 8.3]

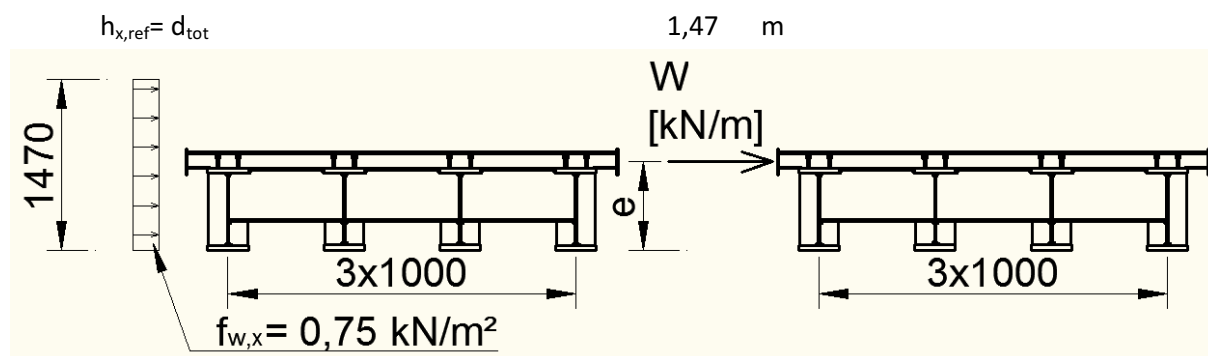


Obr. 30 Součinitel síly pro mosty  $c_{f,x,0}$  (dle Obrázek 8.3, ČSN EN 1991-1-4)

- Síly ve směru x – zjednodušená metoda

$$f_{w,x} = q_p(z) \cdot c_{f,x} \cdot h_{x,ref} = 0,423 \cdot 1,76 \cdot 1,47 = 1,10 \text{ kN.m}^{-1} \\ (0,75 \text{ kN.m}^{-2})$$

(Pozn.: ve vzorci je  $A_{x,ref} = d_{tot} \cdot L$  nahrazno pouze  $h_{x,ref} = d_{tot}$  a zatížení větrem je v programu Scia Engineer 2013.0 modelováno jako liniové zatížení s příslušnou excentricitou)



Obr. 31 Schéma zatížení lávky větrem - nezatížená lávka

Náhradní liniové zatížení	$W = 1,47 \cdot f_{w,x} = 1,47 \cdot 0,75 =$	1,103 $\text{kN.m}^{-1}$
Excentricita	$e =$	0,735 m

- Síly ve směru z

$$c_{f,z} = \pm 0,9 \quad \text{[dle 8.3.3 POZNÁMKA 1]} \\ f_{w,z} = q_p(z) \cdot c_{f,z} = 0,423 \cdot \pm 0,9 = \pm 0,38 \text{ kN.m}^{-2}$$

- Síly ve směru y

Lze je brát jako 25% sil ve směru x. [dle 8.3.4 POZNÁMKA]

$$f_{w,y} = 0,25 f_{w,x} = 0,25 \cdot 0,75 = 0,19 \text{ kN.m}^{-2}$$

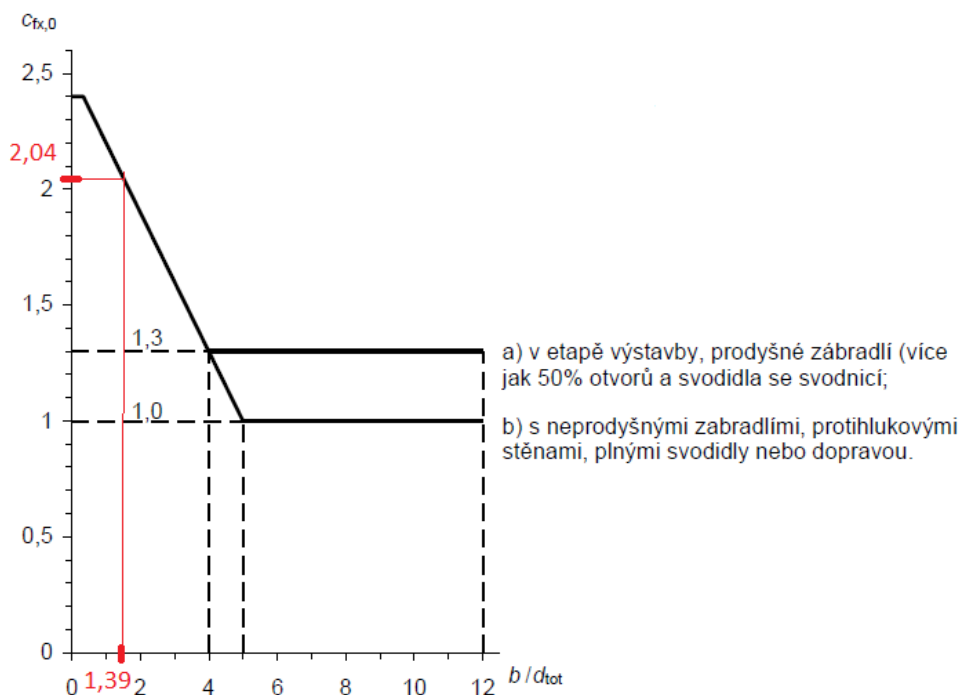
### 9.3.1.2 Součinitel síly pro konstrukce nebo nosné prvky – zatížená lávka

- Stanovení součinitele  $c_{f,x}$

$$c_{f,x} = c_{f,x,0} \quad \text{[dle 8.3.1 (8.1)]}$$

$c_{f,x,0}$ ... součinitel síly bez vlivu proudění kolem volných konců

$b =$	3,72	m	
$d =$	0,87	m	
$d_{tot} = d + 1,8 = 0,87 + 1,8$	2,67	m	
$b/d_{tot} = 3,72/2,67 =$	1,39	-	$\Rightarrow c_{f,x,0} = 2,04$ <span style="float: right;">[dle 8.3.1 Obrázek 8.3]</span>



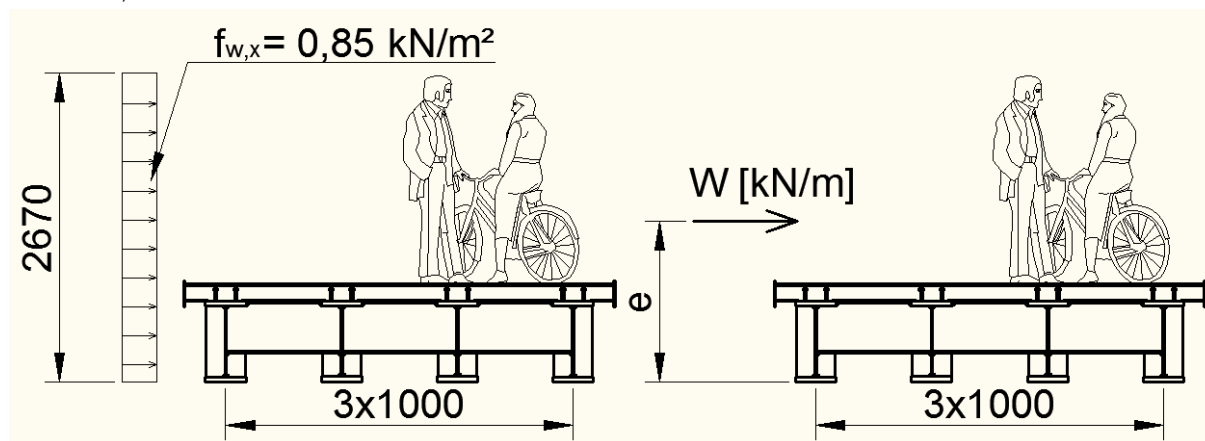
Obr. 32 Součinitel síly pro mosty  $c_{fx,0}$  (dle Obrázek 8.3, ČSN EN 1991-1-4)

- Síly ve směru x – zjednodušená metoda

$$f_{w,x} = q_p(z) \cdot c_{f,x} \cdot h_{x,ref} = 0,423 \cdot 2,04 \cdot 2,67 = \begin{matrix} 2,31 & \text{kN.m}^{-1} \\ (0,87 & \text{kN.m}^{-2}) \end{matrix}$$

(Pozn.: ve vzorci je  $A_{x,ref} = d_{tot} \cdot L$  nahrazno pouze  $h_{x,ref} = d_{tot}$  a zatížení větrem je v programu Scia Engineer 2013.0 modelováno jako liniové zatížení s příslušnou excentricitou)

$$h_{x,ref} = d_{tot} \quad 2,67 \quad \text{m}$$



Obr. 33 Schéma zatížení lávky větrem - zatížená lávka

Náhradní liniové zatížení	$W = 2,67 \cdot f_{w,x} = 2,67 \cdot 0,85 =$	$2,270 \quad \text{kN.m}^{-1}$
Excentricita	$e =$	$1,335 \quad \text{m}$

- Síly ve směru z  
 $c_{f,z} = \pm 0,9$  - [dle 8.3.3 POZNÁMKA 1]  
 $f_{w,z} = q_p(z) \cdot c_{f,z} = 0,423 \cdot \pm 0,9 = \pm 0,38 \text{ kN.m}^{-2}$
- Síly ve směru y  
Lze je brát jako 25% sil ve směru x. [dle 8.3.4 POZNÁMKA]  
 $f_{w,y} = 0,25 f_{w,x} = 0,25 \cdot 0,75 = 0,22 \text{ kN.m}^{-2}$

### 9.3.2 Zatížení teplotou

Zatížení teplotou je určeno dle ČSN EN 1991-1-5 a veškeré odkazy v této kapitole se vztahují k této normě, pokud není udáno jinak.

Nosná konstrukce lávky je zařazena jako typ 2 – ocelobetonová nosná konstrukce

- Minimální a maximální teplota vzduchu ve stínu  $T_{\min}$ ,  $T_{\max}$

$T_{\min}$  a  $T_{\max}$  jsou určeny z map minimálních a maximálních teplot vzduchu ve stínu, které jsou součástí národní přílohy normy ČSN EN 1991-1-5 jako Obrázek NA.1 a NA.2.

$$T_{\min} = -34,0 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\max} = 36,0 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

- Minimální a maximální rovnoměrná složka teploty mostu  $T_{e,\min}$ ,  $T_{e,\max}$

$$T_{e,\min} = T_{\min} + 4,5 \text{ }^{\circ}\text{C} = -34 + 4,5 = -29,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_{e,\max} = T_{\max} + 4,5 \text{ }^{\circ}\text{C} = 36 + 4,5 = +40,5 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad [\text{dle NA.2.4}]$$

- Výchozí teplota  $T_0$

$$T_0 = +10,0 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad [\text{dle NA.2.21}]$$

- Charakteristická hodnota maximálního rozsahu rovnoměrné složky teploty pro výpočet zkrácení lávky  $\Delta T_{N,\text{noc}}$

$$\Delta T_{N,\text{noc}} = T_0 - T_{e,\min} = 10 + 29,5 = 39,5 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad [\text{dle 6.1.3.3 (6.1)}]$$

- Charakteristická hodnota maximálního rozsahu rovnoměrné složky teploty pro výpočet prodloužení lávky  $\Delta T_{N,\text{exp}}$

$$\Delta T_{N,\text{exp}} = T_{e,\max} - T_0 = 40,5 - 10 = 30,5 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad [\text{dle 6.1.3.3 (6.2)}]$$

- Celkový rozsah rovnoměrné složky teploty lávky  $\Delta T_N$

$$\Delta T_N = T_{e,\max} - T_{e,\min} = 40,5 + 29,5 = 70 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad [\text{dle 6.1.3.3 POZNÁMKA 1}]$$

- Lineární rozdílové složky teploty

$$k_{\text{sur}} = 1,0 \text{ - } \quad [\text{dle Tabulka 6.2}]$$

$$\Delta T_{M,\text{heat}} = [\text{horní povrch teplejší než spodní}] = 15 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta T_{M,\text{cool}} = [\text{dolní povrch teplejší než horní}] = 18 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad [\text{dle Tabulka 6.1}]$$

## 9.4 Zatížení zábradlí

Zatížení zábradlí je stanoveno podle ČSN EN 1991-2, 4.8 a veškeré odkazy uvedené v této kapitole jsou vztaženy k této normě, pokud není uvedeno jinak.

Zatížení na zábradlí je bráno jako proměnné zatížení působící na horním povrchu zábradlí.

- Svislé zatížení  $q_{s,zábr,k} = 1,0 \text{ kN.m}^{-1}$   
 $\gamma_Q = 1,5$  -  
 $q_{s,zábr,d} = 1,5 \text{ kN.m}^{-1}$
- Vodorovné zatížení  $q_{v,zábr,k} = 1,0 \text{ kN.m}^{-1}$   
 $\gamma_Q = 1,5$  -  
 $q_{v,zábr,d} = 1,5 \text{ kN.m}^{-1}$



## 10 SROVNÁNÍ ZATÍŽENÍ LÁVKY DLE ČSN A ČSN EN

### 10.1 Stálá zatížení

- Zatížení konstrukce (stará skladba)

Zatížení	Označení zatížení	Norma	Normová/ Charakteristická hodnota [kN.m <sup>-2</sup> ]	Součinitel zatížení [-]	Výpočtová/ Návrhová hodnota [kN.m <sup>-2</sup> ]
Litý asfalt	Dlouhodobé	ČSN	0,88	1,5	1,32
	g <sub>2</sub>	ČSN EN	0,88	1,35	1,19
Izolace	Dlouhodobé	ČSN	0,15	1,3	0,20
	g <sub>2</sub>	ČSN EN	0,15	1,35	0,20
ŽB deska	základní	ČSN	4,01	1,1	4,41
	g <sub>1</sub>	ČSN EN	4,01	1,35	5,41
Ostatní ocel	základní	ČSN	0,56	1,1	0,61
	g <sub>1</sub>	ČSN EN	0,56	1,35	0,77
Σ ČSN			5,60	Σ ČSN	6,54 kN.m <sup>-2</sup>
Σ ČSN EN			5,60	Σ ČSN EN	7,57 kN.m <sup>-2</sup>
				Σ Dlouh.	1,52 kN.m <sup>-2</sup>
				Σ g <sub>2</sub>	1,39 kN.m <sup>-2</sup>
				Σ Zákl.	5,03 kN.m <sup>-2</sup>
				Σ g <sub>1</sub>	6,17 kN.m <sup>-2</sup>

Tabulka 17 Srovnání stálých/dlouhodobých nahodilých zatížení (stará skladba)

Ve stálém zatížení není zahrnuta vlastní tíha hlavních nosníků a příčníků, která je automaticky generována programem Scia Engineer 2013.0 a spadá do typu základní (ČSN) nebo g<sub>0</sub> (ČSN EN).

Zatížení jsou rozdělena na jednotlivé typy a to proto, že tyto jednotlivé typy jsou na konstrukci aplikovány v různých fázích výstavby a jsou přenášeny různým průřezem:

- 1) Základní zatížení/ zatížení g<sub>0</sub>+g<sub>1</sub> přenášena pouze ocelovými svařovanými nosníky
- 2) Dlouhodobá zatížení/ zatížení g<sub>2</sub> přenášena spřaženým ocelobetonovým průřezem

- Zatížení konstrukce (nová skladba)

Zatížení	Označení zatížení	Norma	Normová/ Charakteristická hodnota [kN.m <sup>-2</sup> ]	Součinitel zatížení [-] ]	Výpočtová/ Návrhová hodnota [kN.m <sup>-2</sup> ]	
Parkdeck asfalt. vrstva	Dlouhodobé	ČSN	0,38	1,5	0,57	
	g <sub>2</sub>	ČSN EN	0,38	1,35	0,51	
ŽB deska	základní	ČSN	3,21	1,1	3,53	
	g <sub>1</sub>	ČSN EN	3,21	1,35	4,33	
Ostatní ocel	základní	ČSN	0,56	1,1	0,62	
	g <sub>1</sub>	ČSN EN	0,56	1,35	0,76	
			Σ ČSN	Σ ČSN	4,44	kN.m <sup>-2</sup>
			Σ ČSN EN	Σ ČSN EN	5,27	kN.m <sup>-2</sup>
				Σ Dlouh.	0,57	kN.m <sup>-2</sup>
				Σ g <sub>2</sub>	0,51	kN.m <sup>-2</sup>
				Σ Zákl.	4,15	kN.m <sup>-2</sup>
				Σ g <sub>1</sub>	5,09	kN.m <sup>-2</sup>

Tabulka 18 Srovnání stálých/dlouhodobých nahodilých zatížení (nová skladba)

Lze vidět, že mezi zatížením podle ČSN a ČSN EN je cca 20 % nárůst zatížení, což je způsobeno odlišnostmi v použitých součinitelích zatížení.

## 10.2 Zatížení lávky chodci

Norma	Normová/ Charakteristická hodnota [kN.m <sup>-2</sup> ]	Součinitel zatížení [-]	Dynamický součinitel [-]	Výpočtová/ Návrhová hodnota [kN.m <sup>-2</sup> ]
ČSN	4,00	1,4	1,18	6,61
ČSN EN	5,00	1,5	-	7,50

Tabulka 19 Srovnání zatížení chodci

Norma ČSN EN používá již v charakteristické hodnotě větší zatížení chodci než předchozí ČSN, avšak v hodnotě pro ČSN EN je již obsažen dynamický účinek zatížení chodci, který se podle ČSN vnáší až dynamickým součinitelem. Nárůst zatížení mezi ČSN a ČSN EN je asi 13%.

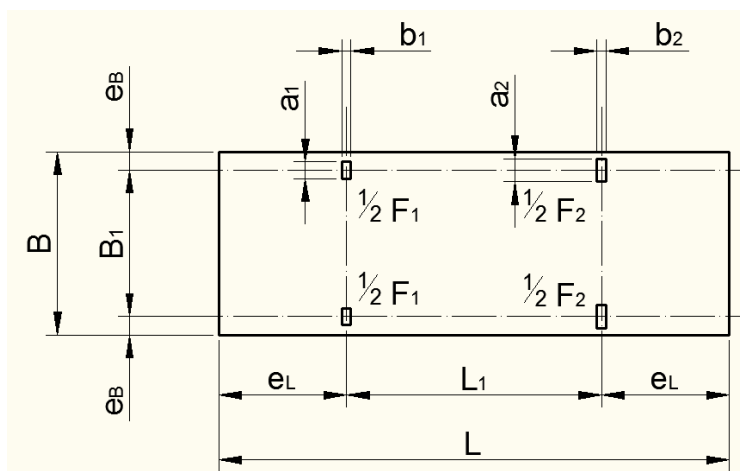
## 10.3 Zatížení lávky vozidlem

### 10.3.1 Srovnání geometrie vozidel

NORMA/ ROZMĚR	ČSN 73 6203 [m]	ČSN EN 1991-2 [m]
L	5,60	-
L <sub>1</sub>	2,80	3,00
e <sub>L</sub>	1,40	-
B	2,00	-
B <sub>1</sub>	1,60	1,30
e <sub>B</sub>	0,20	-
a <sub>1</sub>	0,18	0,20

b <sub>1</sub>	0,10	0,20
a <sub>2</sub>	0,25	0,20
b <sub>2</sub>	0,10	0,20

Tabulka 20 Srovnání geometrie vozidel



Obr. 34 Schéma geometrie vozidla pro Tabulku 20

V normě ČSN EN 1991-2 není dán rozměr obrysu vozidla, protože vozidlo není doplněno o plošné zatížení chodce mimo obrys vozidla, jak je tomu v právě v ČSN 73 6203.

### 10.3.2 Srovnání zatížení vozidlem

Nápravová síla							Plošné zatížení	
Označ.	Norma	Roznášecí plocha A <sub>0</sub> [m <sup>2</sup> ]	Normová/ Charakter. hodnota [kN]	Souč. zat. [-]	Dynam. souč. [-]	Výpočtová/ Návrhová hodnota [kN]	Normová/ Charakter. hodnota [kN.m <sup>-2</sup> ]	Výpočtová/ Návrhová hodnota [kN.m <sup>-2</sup> ]
F <sub>1</sub>	ČSN 73 6203	0,018	10	1,4	1,05	14,7	4	6,61
F <sub>2</sub>		0,025	15	1,4	1,05	22,05		
Q <sub>sv1</sub>	ČSN EN 1991-2	0,04	80	1,0	-	80	-	-
Q <sub>sv2</sub>			40	1,0	-	40		

Tabulka 21 Srovnání zatížení od vozidla

Zde se od sebe obě normy značně liší a to jak v hodnotách nápravových zatížení, tak v jejich kombinaci s plošným zatížením a návrhové situace do které je toto zatížení zařazeno.

## 10.4 Vodorovné účinky zatížení chodci/vozidlem

Vodorovné účinky zatížení se podle obou porovnávaných norem stanoví jako část zatížení svislého daná v procentech.

Označ.	Označ. svislého zatížení	Norma	Svislé zatížení			Vodorovné zatížení			
			Normová/ Charakter. hodnota	Výpočtová/ Návrhová hodnota	[-]	Část zatížení v %	Normová/ Charakter. hodnota	Výpočtová/ Návrhová hodnota	[-]
$Q_{fl}$	$\Sigma F_1 + F_2$	ČSN 73 6203	25	36,75	kN	15%	3,75	6,61	kN
$q_{fl}$	$q$		4	6,61	$\text{kN.m}^{-2}$	5%	0,20	0,33	$\text{kN.m}^{-2}$
$Q_{fl}$	$\Sigma Q_{sv1} + Q_{sv2}$	ČSN EN 1991-2	120	120	kN	60%	72,00	72,00	kN
$q_{fl}$	$q$		5	7,5	$\text{kN.m}^{-2}$	10%	0,50	0,75	$\text{kN.m}^{-2}$

Tabulka 22 Srovnání vodorovných účinků od zatížení chodci a vozidly

Vodorovné zatížení od vozidel jsou jen těžko porovnatelné, protože je zde velký rozdíl v přístupu k daným zatížením. Vodorovné zatížení od plošných zatížení chodci jsou však snadno srovnatelná a vidíme, že ČSN EN uvažuje dvakrát větší vodorovná zatížení poměrem k zatížení svislému.

## 10.5 Zatížení větrem

### 10.5.1 Rovnoměrná (plošná) zatížení

	Norma	Normová/ Charakter. hodnota $[\text{kN.m}^{-2}]$	Souč. zat. [-]	Výpočtová/ Návrhová hodnota $[\text{kN.m}^{-2}]$	Poznámky
Nezatížená lávka	ČSN 73 0035	1,10	1,3	1,43	
	ČSN EN 1991-1-4	0,75	1,5	1,13	
Zatížená lávka	ČSN 73 0035	1,10	1,3	1,43	Kce lávky
		0,55		0,72	pás pohyblivého zatížení
	ČSN EN 1991-1-4	0,87	1,5	1,31	

Tabulka 23 Srovnání hodnot plošných zatížení od větru

### 10.5.2 Náhradní liniová zatížení

Lávka	Norma	Normová/Charakter. hodnota výslednice lin. zatížení $[\text{kN.m}^{-1}]$	Součinitel zatížení [-]	Excentricita $e$ [m]
Nezatížená	ČSN 73 0035	0,990	1,3	0,45
	ČSN EN 1991-1-4	1,103	1,5	0,735
Zatížená	ČSN 73 0035	1,964	1,3	1,112
	ČSN EN 1991-1-4	2,270	1,5	1,335

Tabulka 24 Srovnání náhradních liniových zatížení větrem a jejich excentricit

Ve výše uvedené tabulce lze vidět, že charakteristická a normová zatížení jsou srovnatelná a u zatížené lávky jsou dokonce i excentricity zatížení srovnatelné. Rozdíl narůstá při výpočtu návrhových/výpočtových hodnot zatížení. Dalo by se říci, že zatížení stanovené pomocí ČSN EN 1991-1-4 bude vyšší, než to stanovené podle ČSN 73 0035. Tento rozdíl se však může změnit při použití

zatížení v kombinaci s ostatními zatíženími a to z důvodu odlišnosti kombinačních součinitelů, které jsou u ČSN vyšší:

Kombinační součinitele dle ČSN 73 6203:

$\psi...$	kombinační součinitel	- stálá a nahodilá dlouhodobá zatížení	$\psi = 1,0$
		- 1 nahodilá krátkodobá zatížení	$\psi = 1,0$
		- 2-3 nahodilá krátkodobá zatížení	$\psi = 0,9$
		- 4 a více nahodilých krátkodobých zatížení	$\psi = 0,8$
[dle ČSN 73 6203, 10.]			

Kombinační součinitele dle ČSN EN

$\psi_{0,i...}$	kombinační součinitele	$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
	zatížení větrem	0,3	0,2	0,0
	zatížení chodci	0,4	0,4	0,0

V kombinaci, kde vítr není hlavním zatížením, bude pravděpodobně jeho účinek větší při výpočtu dle ČSN, avšak v případě, kde bude zatížení větrem bráno jako hlavní proměnné zatížení, bude vyšší účinek od zatížení větrem vyvozovat zatížení podle ČSN EN.

## 10.6 Zatížení teplotou

Norma	Teplota [°C]	
ČSN 73 6203	$t_{\max}$	50
ČSN EN 1991-1-5	$T_{e,\max}$	40,5
ČSN 73 6203	$t_{\min}$	-35
ČSN EN 1991-1-5	$T_{e,\min}$	-29,5

Tabulka 25 Srovnání zatížení teplotou

V původním statickém výpočtu dle ČSN 73 6203 byly jako teploty pro návrh vzaty teploty pro ocelovou konstrukci a nikoli pro spřaženou konstrukci. Teploty pro spřaženou konstrukci dle ČSN 73 6203 se blíží více teplotám podle ČSN EN.

## 10.7 Zatížení zábradlí

Zatížení zábradlí je modelováno jako liniové zatížení působící na horní hraně zábradlí.

Zatížení	Norma	Normová/ Charakter. hodnota [kN.m <sup>-1</sup> ]	Souč. zat. [-]	Výpočtová/ Návrhová hodnota [kN.m <sup>-1</sup> ]
Vodorovné	ČSN 73 6203	1,00	1,2	1,20
	ČSN EN 1991-2	1,00	1,5	1,50
Svislé	ČSN 73 6203	1,00	1,2	1,20
	ČSN EN 1991-2	1,00	1,5	1,50

Tabulka 26 Srovnání zatížení zábradlí

Zatížení zábradlí se zvyšuje o hodnotu součinitele zatížení (zvýšení o 25%).

## 12 VÝPOČTOVÝ MODEL KONSTRUKCE

### 12.1 Původní statický model konstrukce z roku 1988

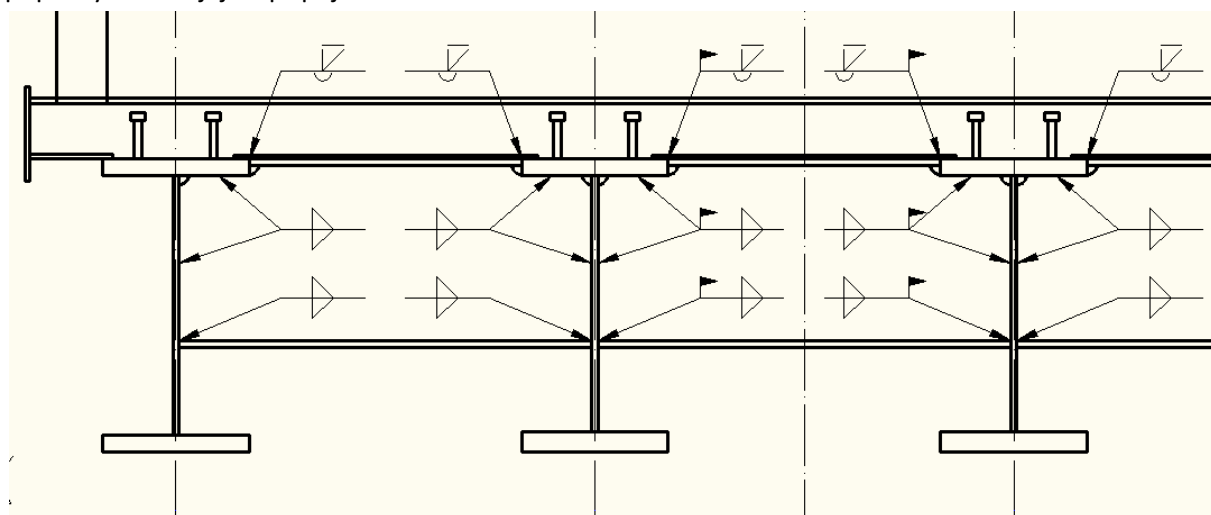
Konstrukce byla v roce 1988 navržena pomocí zjednodušených postupů. Jednotlivé prvky byly navrženy odděleně na nejnepříznivější účinky zatížení.

Statický výpočet z roku 1988 je přílohou této diplomové práce.

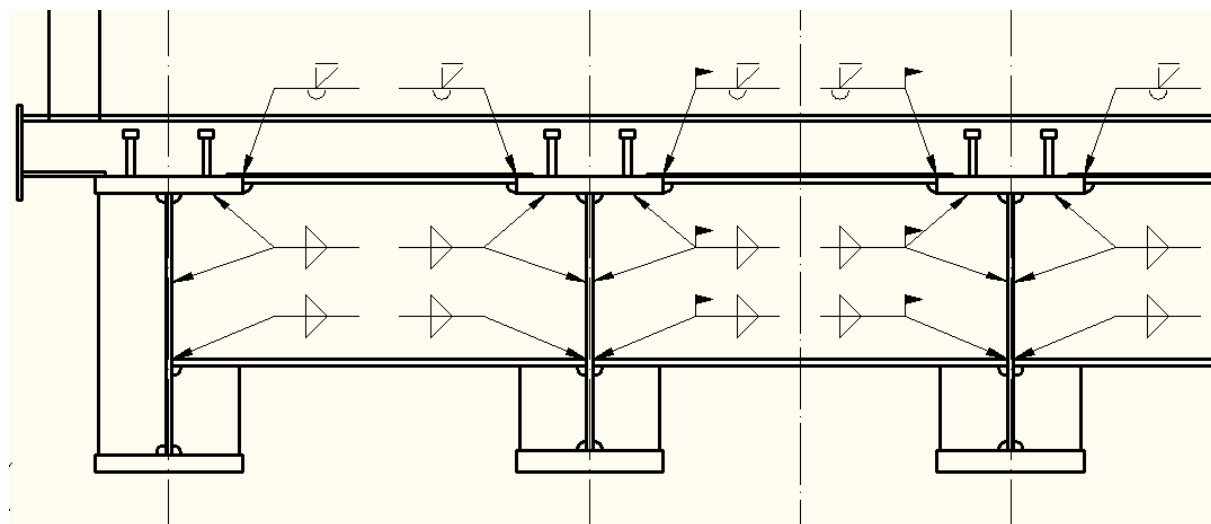
Podle autora této práce je tento přístup sice dostatečný, přece jen konstrukce stojí a plní svou funkci bez zásadních problémů, avšak statické působení celé konstrukce jako celku je poněkud odlišné, což se projevilo při modelování konstrukce ve 3D.

### 12.2 Upravený statický model pro výpočet podle ČSN

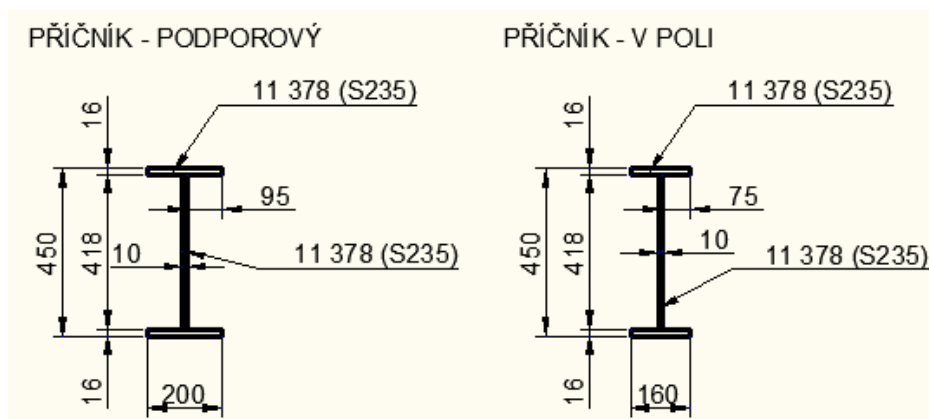
Ocelová nosná konstrukce lávky, hlavní nosníky a příčníky, jsou modelovány jako 3D systém. V původním statickém posudku není řešen návrh profilu příčníků, připojení příčníku na hlavní nosníky ani jejich vliv na zatížení hlavních nosníků. Avšak v prováděcí dokumentaci jsou příčníky detailně popsány včetně jejich připojení k hlavním nosníkům.



Obr. 35 Schéma připojení příčníku na hlavní nosníky



Obr. 36 Schéma připojení podporového příčníku na hlavní nosníky



Obr. 37 Schéma geometrie příčníků

Vzhledem k výšce příčníku a jeho připojení svary na plnou únosnost průřezu je nutno modelovat příčník jako vetknutý k hlavním nosníkům. Toto spojení zajišťuje spolupůsobení mezi hlavními nosníky, přerozdělení zatížení a vyrovnání/přiblížení deformace vnitřního a krajního nosníku.

Důležité je, že dojde ke zvýšení zatížení na krajní nosníky, se kterými není při zjednodušeném návrhu počítáno. Bude proveden výpočet podle ČSN v programu Scia Engineer 2013.3, kde bude zohledněno propojení hlavních nosníků příčnicky. Výsledky budou srovnány s původním výpočtem.

### 12.3 Statický model pro výpočet dle ČSN EN

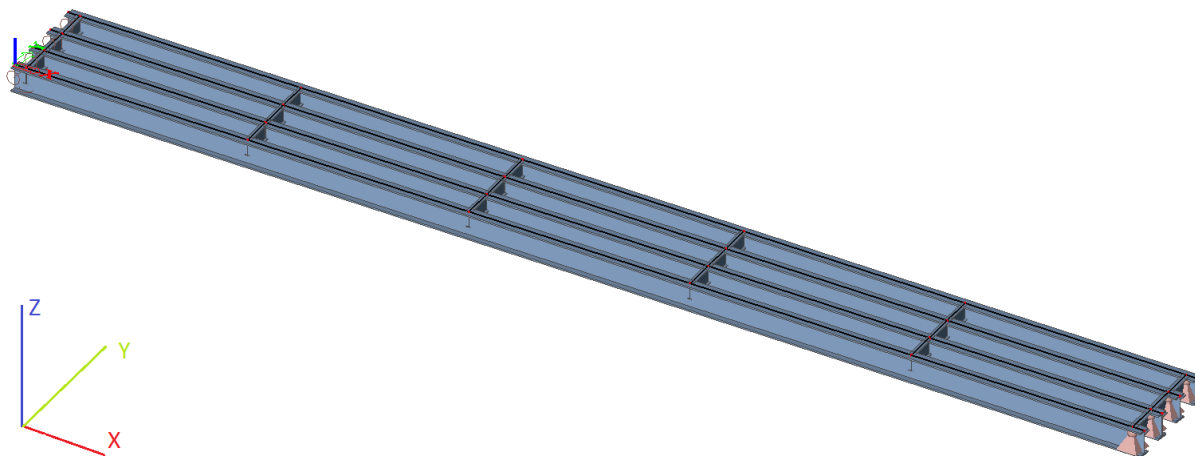
Konstrukce je modelována stejným způsobem jako pro výpočet dle ČSN.

### 12.4 Modely ve Scia Engineer 2013.0

#### 12.4.1 Model konstrukce

Způsob modelování konstrukce se pro jednotlivé normy neliší.

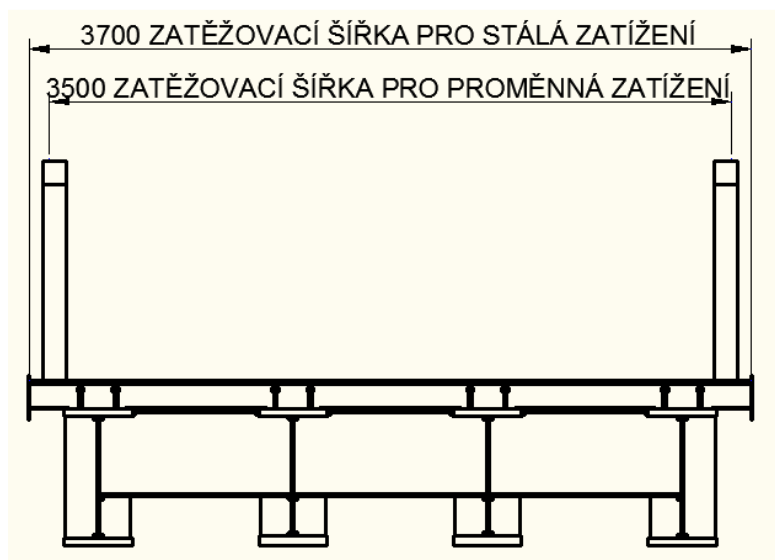
Konstrukce je modelována ve 3D pomocí čtyř hlavních ocelových nosníků (2x krajní a 2x vnitřní). Každý nosník je prostě podepřen a mezi sebou jsou spojeny příčnicky (2x podporový a 4x příčník v poli). Příčnicky svírají s hlavními nosníky úhel  $92^\circ$ , stejný jako lávka s překonávaným tokem. Příčnicky jsou s hlavními nosníky spojeny svary a tento přípoj je modelován jako tuhý.



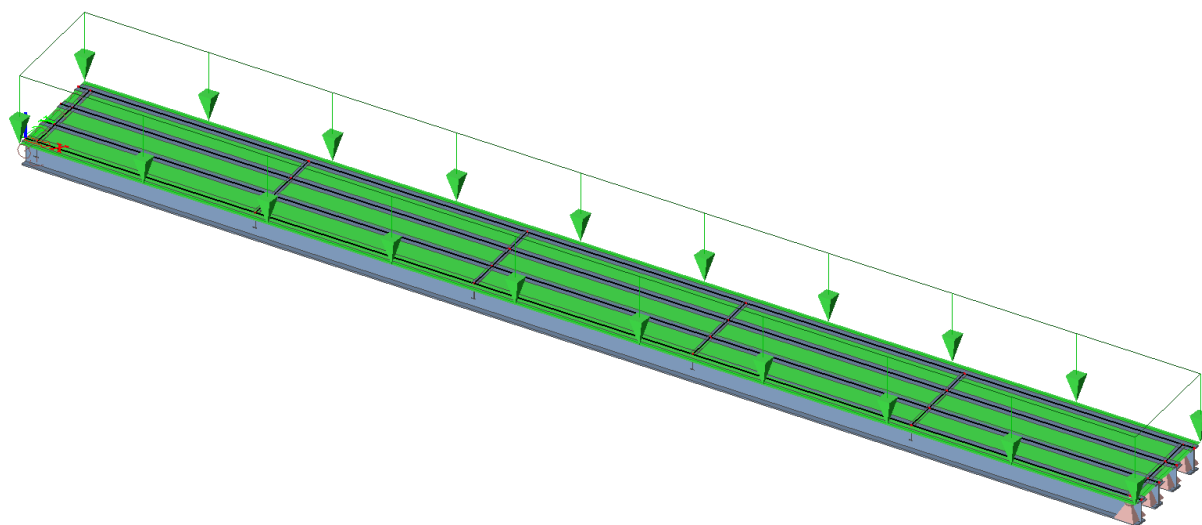
Obr. 38 Model lávky v programu Scia Engineer 2013.0

#### 12.4.2 Model zatížení

- Stálé zatížení od nosné konstrukce je generováno výpočetním programem podle zvolených průřezů a materiálu jednotlivých prvků.
- Ostatní stálé, nahodilá dlouhodobá zatížení, zatížení chodci a svislé účinky zatížení od větru jsou modelována pomocí generátoru rovinného zatížení podle zatěžovacích šířek, viz. Obr 39.



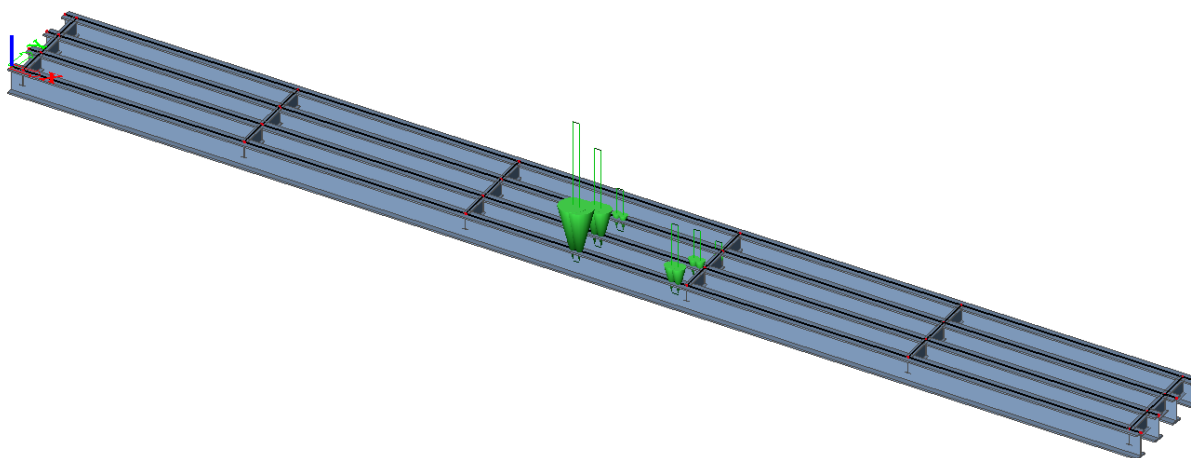
Obr. 39 Schéma zatěžovacích šířek pro jednotlivá zatížení



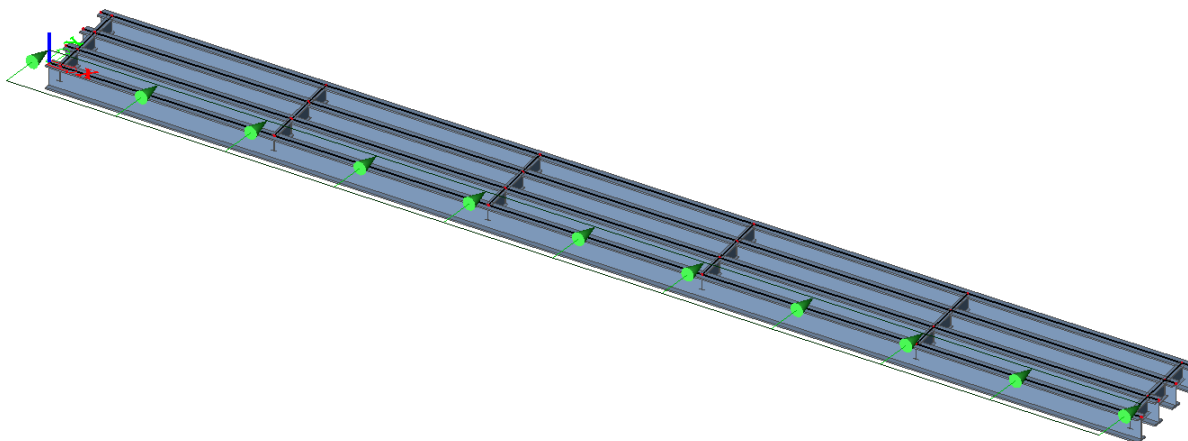
Obr. 40 Plošné zatížení generované generátorem plošného zatížení v programu Scia Engineer 2013.0



- Kolové síly od vozidla do 2,5t jsou modelovány jako liniové zatížení na zatěžovací délku dle vozidla pro příslušnou normu roznesené na hlavní nosníky



- Zatížení od větru je modelováno jako náhradní liniové zatížení na příslušné excentricitě, viz. podkapitoly 8.3.1 a 9.3.1 tohoto dokumentu.



## 13 ZATĚŽOVACÍ STAVY A KOMBINACE ZATÍŽENÍ DLE ČSN

### 13.1 Zatěžovací stavy ČSN

Název	Popis zatěžovacího stavu	Typ	Skupina	Vzdorující průřez
LC1	Vlastní tíha ocelové konstrukce	Stálé	LG1	Ocelový průřez
LC2	Ostatní stálé zatížení – stará skladba (ocel. bednění, ŽB deska)	Stálé	LG2	
LC3	Ostatní stálé zatížení – nová skladba (ocel. bednění, ŽB deska)	Stálé	LG2	
LC4	Stará skladba - izolace	Nahodilé dlouhodobé	LG3	Spřažený průřez n= 27,7
LC5	Stará skladba – litý asfalt	Nahodilé dlouhodobé	LG3	
LC6	Nová skladba - PARKDECK	Nahodilé dlouhodobé	LG4	
LC7	Zatížení chodci (dav lidí)	Nahodilé krátkodobé	LG5	Spřažený průřez n= 7,9
LC8	Lehké vozidlo do 2,5t – kolové síly (krajní nosník)	Nahodilé krátkodobé	LG6	
LC9	Lehké vozidlo do 2,5t – doplněk zatížení chodci (krajní nosník)	Nahodilé krátkodobé	LG6	
LC10	Lehké vozidlo do 2,5t – kolové síly (vnitřní nosník)	Nahodilé krátkodobé	LG7	
LC11	Lehké vozidlo do 2,5t – doplněk zatížení chodci (vnitřní nosník)	Nahodilé krátkodobé	LG7	
LC12	Vítr – vodorovné zatížení příčné (nezatížený most)	Nahodilé krátkodobé	LG8	
LC13	Vítr – vodorovné zatížení příčné (zatížený most)	Nahodilé krátkodobé	LG8	
LC14	Vítr – svislý tlak	Nahodilé krátkodobé	LG9	
LC15	Vítr – svislé sání	Nahodilé krátkodobé	LG9	

Tabulka 27 Zatěžovací stavy pro výpočet dle ČSN

## 13.2 Kombinace dle ČSN 73 6203

Výpočet konstrukce se provádí s uvážením nejnepříznivějších kombinací zatížení, které se při stavbě a provozu mostu mohou vyskytnout. Veškeré odkazy v této podkapitole se vztahují na výše zmíněnou normu, pokud není dáno jinak.

Kombinace jsou sestaveny ručně v programu Scia Engineer 2013.0 a jsou sestaveny s ohledem na srovnání výpočtu s původním statickým posouzením, které je přílohou této diplomové práce. V tomto původním posudku jsou hlavní nosníky navrženy na účinky maximálních ohybových momentů a posouzena možnost vzniku nadzdvihující reakce v podpoře způsobené zatížením od větru.

Kombinace jsou také navrženy s ohledem na průřez, který odolává vyvozenému zatížení – viz. kapitoly 5 a 6 tohoto dokumentu.

- 1) Ocelový průřez
- 2) Spřažený průřez,  $n = 27,7$
- 3) Spřažený průřez,  $n = 7,9$

$\psi...$	kombinační součinitel	- stálá a nahodilá dlouhodobá zatížení	$\psi= 1,0$
		- 1 nahodilá krátkodobá zatížení	$\psi= 1,0$
		- 2-3 nahodilá krátkodobá zatížení	$\psi= 0,9$
		- 4 a více nahodilých krátkodobých zatížení	$\psi= 0,8$

Poznámka autora: Bylo zjištěno, že program Scia Engineer 2013.0 přiřazuje kombinační součinitele také nahodilým dlouhodobým zatížením. Proto byly vytvořeny lineární kombinace v tomto programu ručně.

$\gamma_i...$	součinitel zatížení	pro jednotlivé druhy zatížení jsou součinitele popsány v Tab. 1 normy ČSN 73 6203
---------------	---------------------	---

### 13.2.1 Kombinace pro mezní stav únosnosti

Označ.	Popis kombinace	Průřez	Zat. stav	$\gamma$	Dynam. součinitel	$\psi$
CO1	Vlastní tíha konstrukce + Ostatní stálé zatížení	1	LC1	1,1	-	1,0
			LC2	1,1	-	1,0
CO2	Vlastní tíha konstrukce + zatížení větrem (posouzení vzniku nadzvedávací reakce - montáž)	1	LC1	0,9	-	1,0
			LC13	1,3	-	1,0
CO3	Zatížení nahodilé dlouhodobé - stará skladba	2	LC4	1,3	-	1,0
			LC5	1,5	-	1,0
CO4	Zatížení nahodilé dlouhodobé - nová skladba	2	LC6	1,5	-	1,0
CO5	Zatížení lávky chodci	3	LC7	1,4	1,18	1,0
CO6	Zatížení lehkým vozidem do 2,5t + doplněk zatížení chodci (max M pro krajní nosník)	3	LC8	1,4	1,05	1,0
			LC9	1,4	1,18	1,0
CO7	Zatížení lehkým vozidem do 2,5t + doplněk zatížení chodci (max M pro vnitřní nosník)	3	LC10	1,4	1,05	1,0
			LC11	1,4	1,18	1,0
CO8	Konstrukce mostu(stará skladba) zatížená chodci + zatížení větrem (posouzení vzniku nadzvedávací reakce - zatížený most)	1,2,3	LC1	0,9	-	1,0
			LC3	0,9	-	1,0
			LC4	0,9	-	1,0
			LC5	0,9	-	1,0
			LC7	1,4	1,18	0,9
			LC12	1,3	-	1,0
			LC14	1,3	-	1,0
CO11	CO1+CO3+CO5	1,2,3	LC15	1,3	-	1,0
CO12	CO1+CO4+CO5	1,2,3	-	-	-	-
CO13	CO1+CO3+CO6	1,2,3	-	-	-	-
CO14	CO1+CO4+CO6	1,2,3	-	-	-	-
CO15	CO1+CO3+CO7	1,2,3	-	-	-	-
CO16	CO1+CO4+CO7	1,2,3	-	-	-	-

Tabulka 28 Kombinace zatížení pro mezní stav únosnosti dle ČSN

Pomocí kombinací CO2 a CO8 bude zjištěno, zda může dojít k nadzvednutí některé z podpor lávky.

Pomocí kombinací CO11, CO13 a CO15 bude stanoven největší ohybový moment pro posouzení profilů hlavních nosníků.

Vnitřní síly z daných kombinací pro jednotlivé hlavní nosníky lze nalézt v PŘÍLOZE 4 tohoto dokumentu, jedná se o výstup z výpočetního programu Scia Engineer 2013.0.

### 13.2.2 Kombinace pro mezní stav použitelnosti

V programu Scia Engineer 2013.0 je sestavena ručně pouze jedna kombinace na posouzení maximálního průhybu ocelového profilu vnitřního a krajního hlavního nosníku při zatížení od vlastní tíhy a ostatního stálého zatížení.

Označ.	Popis kombinace	Průřez	Zat. stav	$\gamma$	Dynam. součinitel	$\psi$
CO21	Průhyb ocelových profilů pod vlastní tíhou a ostatním stálým zatížením	1	LC1	1,0	-	1,0
			LC2	1,0	-	1,0

Tabulka 29 Kombinace zatížení pro mezní stav použitelnosti dle ČSN

Průhyb jednotlivých nosníků bude porovnán s hodnotou navrženého převýšení a bude posouzeno, zda bylo toto převýšení navrženo o dostatečné velikosti.

## 14 ZATĚŽOVACÍ STAVY A KOMBINACE ZATÍŽENÍ DLE ČSN EN

### 14.1 Zatěžovací stavy dle ČSN EN

Název	Popis zatěžovacího stavu	Typ	Skupina	Vzdorující průřez
LC1	Vlastní tíha ocelové konstrukce	Stálé	LG1	Ocelový průřez VNITŘNÍ/KRAJNÍ
LC2	Ostatní stálé zatížení – stará skladba(ocel. bednění, ŽB deska )	Stálé	LG1	
LC3	Ostatní stálé zatížení – nová skladba (ocel. plech, ŽB deska)			
LC4	Stará skladba	Stálé	LG2	Spřažený průřez n= 27,7/27,8
LC5	Nová skladba	Stálé	LG2	
LC6	Zatížení chodci – dav lidí	Užitné	LG3	Spřažený průřez n= 7,9/7,9
LC7	Mimořádný výskyt vozidla na lávce (krajní nosník)	Mimořádné	LG5	
LC8	Mimořádný výskyt vozidla na lávce (vnitřní nosník)	Mimořádné	LG5	
LC9	Vítr – vodorovné zatížení příčné (zatížený most)	Užitné	LG4	
LC10	Vítr – vodorovné zatížení příčné (nezatížený most)	Užitné	LG4	
LC11	Vítr – svislý tlak	Užitné	LG5	
LC12	Vítr – svislé sání	Užitné	LG5	

Tabulka 30 Zatěžovací stavy pro výpočet dle ČSN

### 14.2 Kombinace dle ČSN EN 1990

Kombinace zatížení jsou sestaveny podle ČSN EN 1990 ed.2 podle dané návrhové situace, veškeré odkazy v této podkapitole se vztahují k této normě, pokud není uvedeno jinak. Obecně lze tyto kombinace vyjádřit takto:

- Mezní stav únosnosti MSÚ

#### 1) Základní kombinace

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad [\text{dle 6.4.3.2 (6.10)}]$$

alternativně lze použít pro mezní stavy STR a GEO méně příznivou z následujících

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad [\text{dle 6.4.3.2 (6.10a)}]$$

$$\sum_{j \geq 1} \xi \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad [\text{dle 6.4.3.2 (6.10b)}]$$

G... stálé zatížení

P... zatížení od předpětí

Q... proměnné zatížení

$\gamma_i$ ... dílčí součinitel zatížení

$$\gamma_G = 1,35$$

pro nepříznivá zatížení

$$\gamma_G = 1,00$$

pro příznivá zatížení

$$\gamma_P = 1,00$$

pro zatížení předpětím

$$\gamma_Q = 1,50$$

pro proměnná zatížení

$\psi_{0,i}...$	kombinační součinitel	Typ zatížení	$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$	
		- Chodci	gr1	0,4	0,4	0,0
			$Q_{fw,k}$	0,0	0,0	0,0
			gr2	0,0	0,0	0,0
		- Vítr		0,3	0,2	0,0
		- Sníh (provádění)		0,8	0,0	0,0
		- Teplota		0,6	0,6	0,5

[dle Přílohy A2.2.6, Tabulka A2.2]

$\xi \dots$  redukční součinitel pro nepříznivá stálá zatížení  $\xi = 0,85$  -

POZNÁMKY: (1) Zatížení sněhem nebo větrem se nemusí kombinovat se zatížením na lávkách a cyklistických stezkách, nebo sestavou gr3

[dle A2.2.2 (3)]

2) Kombinace zatížení pro mimořádné návrhové situace (mimořádný výskyt vozidla na lávce)

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + "P" + "A_d" + "(\psi_{1,1} \text{ nebo } \psi_{2,1})Q_{k,1}" + "\sum_{i > 1} \psi_{2,i}Q_{k,i}" \quad [\text{dle 6.4.3.3 (6.11b)}]$$

$A_d \dots$  mimořádné zatížení

$\psi_{1,1}; \psi_{2,i} \dots$  kombinační součinitele pro příslušnou návrhovou situaci dle příslušné normy ČSN EN 1991 až 1999

- dle ČSN EN 1991-2, 5.6.3 (3) se společně s modelem pro mimořádný výskyt vozidla nemá uvažovat žádné proměnné zatížení ( $\psi_{1,1}; \psi_{2,i} = 0$ )

- Mezní stav použitelnosti MSP

Mezní stav použitelnosti bude použit pro srovnání deformace (svislého průhybu) lávky. Jako hlavní kombinace pro toto posouzení bude použita charakteristická kombinace zatížení.

#### 14.2.1 Kombinace pro mezní stav únosnosti

Pro posouzení mezního stavu únosnosti jsou použity kombinace 6.10a, 6.10b a mimořádné kombinace zatížení. Jelikož v jednotlivých fázích zatěžování lávky přenáší zatížení různý průřez, jsou kombinace vytvořeny, tak aby se jednotlivé fáze zatěžování a jejich účinky na konstrukci jednoduše z dané kombinace odečíst. Kombinace, které obsahují stejné zatěžovací stavy, jsou označeny stejným číslem, jejich odlišení je provedeno pomocí písmene za názvem kombinace:

- (a) kombinace 6.10a
- (b) kombinace 6.10b
- (m) mimořádná kombinace

Označ.	Popis kombinace	Průřez	Zat. stav	$\gamma$	$\xi$	$\psi$
CO1(a)	Vlastní tíha konstrukce + Ostatní stálé zatížení	1	LC1	1,35	1,0	1,0
			LC2	1,35	1,0	1,0
CO1(b)	Vlastní tíha konstrukce + Ostatní stálé zatížení	1	LC1	1,35	0,85	1,0
			LC2	1,35	0,85	1,0
CO1(m)	Vlastní tíha konstrukce + Ostatní stálé zatížení	1	LC1	1,35	-	1,0
			LC2	1,35	-	1,0
CO2(a)	Zatížení od stálého dlouhodobého zatížení (stará skladba)	2	LC4	1,35	1,0	1,0
CO2(b)	Zatížení od stálého dlouhodobého zatížení (stará skladba)	2	LC4	1,35	0,85	1,0
CO2(m)	Zatížení od stálého dlouhodobého zatížení (stará skladba)	2	LC4	1,0	-	1,0
CO3(a)	Zatížení od stálého dlouhodobého zatížení (nová skladba)	2	LC5	1,35	1,0	1,0
CO3(b)	Zatížení od stálého dlouhodobého zatížení (nová skladba)	2	LC5	1,35	0,85	1,0
CO4(a)	Zatížení lávky chodci	3	LC5	1,35	1,0	0,4
CO4(b)	Zatížení lávky chodci	3	LC5	1,35	0,85	1,0
CO5(m)	Mimořádný výskyt vozidla na lávce (krajní nosník)	3	LC5	1,0	-	1,0
CO6(m)	Mimořádný výskyt vozidla na lávce (vnitřní nosník)	3	LC5	1,0	-	1,0
CO7(b)	Posouzení vzniku nadzvedávací reakce v podpoře (nezatížená lávka)	1	LC1	1	1,0	1,0
			LC10	1,5	1,0	1,0
CO8(b)	Posouzení vzniku nadzvedávací reakce v podpoře (zatížená lávka)	1,2,3	LC1	1	1,0	1,0
			LC3	1	1,0	1,0
			LC5	1	1,0	1,0
			LC6	1,5	-	0,4
			LC9	1,5	-	1,0
			LC11	1,5	-	1,0
CO11(a)	CO1+CO2+CO4	1,2,3	LC1	1,35	1,0	1,0
			LC2	1,35	1,0	1,0
			LC4	1,35	1,0	1,0
			LC6	1,5	-	0,4
CO11(b)	CO1+CO2+CO4	1,2,3	LC1	1,35	0,85	1,0
			LC2	1,35	0,85	1,0
			LC4	1,35	0,85	1,0
			LC6	1,5	-	1,0



CO12(a)	CO1+CO3+CO4	1,2,3	LC1	1,35	1,0	1,0
			LC3	1,35	1,0	1,0
			LC5	1,35	1,0	1,0
			LC6	1,5	-	0,4
CO12(b)	CO1+CO3+CO4	1,2,3	LC1	1,35	0,85	1,0
			LC3	1,35	0,85	1,0
			LC5	1,35	0,85	1,0
			LC6	1,5	-	1,0
CO13(m)	CO1+CO2+CO6	1,2,3	LC1	1	-	1,0
			LC2	1	-	1,0
			LC4	1	-	1,0
			LC7	1	-	1,0
CO14(m)	CO1+CO2+CO6	1,2,3	LC1	1	-	1,0
			LC2	1	-	1,0
			LC4	1	-	1,0
			LC8	1	-	1,0

Tabulka 31 Kombinace pro mezní stav únosnosti dle ČSN EN

#### 14.2.2 Kombinace pro mezní stav použitelnosti

V programu Scia Engineer 2013.0 je sestavena ručně pouze jedna kombinace na posouzení maximálního průhybu ocelového profilu vnitřního a krajního hlavního nosníku při zatížení od vlastní tíhy a ostatního stálého zatížení. Hodnoty průhybů z této kombinace jsou porovnány s navrženým nadvýšením a je zkontrolováno, zda bylo toto nadvýšení navrženo o dostatečné velikosti.

Označ.	Popis kombinace	Průřez	Zat. stav	$\gamma$	$\psi$
CO21	Průhyb ocelových profilů pod vlastní tíhou a ostatním stálým zatížením	1	LC1	1,0	1,0
			LC2	1,0	1,0

Tabulka 32 Kombinace zatížení pro mezní stav použitelnosti dle ČSN EN

Účinky jednotlivých kombinací a obecný výstup z programu Scia Engineer 2013.0 lze najít v PŘÍLOZE 5 tohoto dokumentu.

## 15. SROVNÁNÍ KOMBINACÍ ZATÍŽENÍ DLE ČSN A ČSN EN

Základní kombinace zatížení, vycházející z 6.10 podle ČSN EN, je velice podobná kombinaci podle ČSN. Avšak výsledky vycházející z kombinace podle 6.10 vycházejí značně větší než výsledky z kombinace dle ČSN, což je způsobeno hlavně vyšším zatížením v charakteristických hodnotách podle ČSN EN a také celkově vyššími součiniteli zatížení.

ČSN EN však umožňuje použít méně příznivou kombinaci z kombinací 6.10a a 6.10b, což vede ke snížení účinků zatížení v jednotlivých kombinacích. Zde dokonce v důsledku použití kombinačního součinitele  $\psi$ , který je pro zatížení lávky chodci roven 0,4, vycházejí kombinace podle 6.10a dokonce menší než, kombinace podle ČSN.

Méně příznivou kombinací, z dvojice 6.10a a 6.10b, se tedy jeví kombinace podle 6.10b, kde dochází ke snížení účinků stálých zatížení aplikací redukčního součinitele  $\xi=0,85$ . Avšak toto bude potvrzeno až po posouzení napětí v jednotlivých částech průřezu.

Srovnání nejnepříznivějších účinků kombinací:

### 15.1 KRAJNÍ HLAVNÍ NOSNÍK

	Pozice dx [m]	Kombinace	ČSN [kN, kNm]					
			$M_y$	$V_z$	N	$M_x$	$M_z$	$V_y$
$M_{y,max}$	17,50	CO11	<b>2050,63</b>	-0,44	-85,04	-0,45	0,50	-0,93
$V_{z,max}$	0,35	CO11	8,58	<b>238,62</b>	-46,55	-0,19	<b>15,46</b>	<b>-3,56</b>
$N_{max}$	27,23	CO11	1311,78	-146,12	<b>-93,03</b>	-0,15	-0,40	0,04

Tabulka 33 Maximální vnitřní síly dle ČSN

	Pozice dx [m]	Kombinace	ČSN EN dle 6.10b [kN, kNm]					
			$M_y$	$V_z$	N	$M_x$	$M_z$	$V_y$
$M_{y,max}$	17,50	CO11(b)	<b>2161,62</b>	-0,46	-89,68	-0,47	0,53	-0,98
$V_{z,max}$	0,35	CO11(b)	9,07	<b>251,44</b>	-49,09	-0,20	<b>16,31</b>	<b>-3,75</b>
$N_{max}$	27,23	CO11(b)	1382,92	-154,14	<b>-98,11</b>	-0,16	-0,42	0,04

	Pozice dx [m]	Kombinace	ČSN EN dle 6.10a [kN, kNm]					
			$M_y$	$V_z$	N	$M_x$	$M_z$	$V_y$
$M_{y,max}$	17,50	CO11(a)	<b>1853,87</b>	-0,39	-76,67	-0,41	0,46	-0,84
$V_{z,max}$	0,35	CO11(a)	7,61	<b>216,37</b>	-41,95	-0,18	<b>13,95</b>	<b>-3,21</b>
$N_{max}$	27,23	CO11(a)	1185,12	-131,28	<b>-83,79</b>	-0,13	-0,39	0,05

Tabulka 34 Maximální vnitřní síly dle ČSN EN

## 15.2 VNITŘNÍ HLAVNÍ NOSNÍK

Hlavní nosníky budou v následujících kapitolách posouzeny na kombinaci účinků smykové síly  $V_z$  a ohybového momentu  $M_y$ . Tyto posudky budou poté vyhodnoceny v závěru tohoto dokumentu.

	Pozice dx [m]	Kombinace	ČSN [kN, kNm]					
			$M_y$	$V_z$	N	$M_x$	$M_z$	$V_y$
$M_{y,max}$	17,50	CO11	<b>2227,85</b>	0,21	80,46	-0,66	0,44	-1,04
$V_{z,max}$	33,95	CO11	-32,00	<b>-269,32</b>	84,95	-0,21	-0,82	<b>-0,13</b>
$N_{max}$	20,51	CO11	2134,56	-53,21	<b>87,45</b>	-0,53	0,20	-0,17

Tabulka 35 Maximální vnitřní síly dle ČSN

	Pozice dx [m]	Kombinace	ČSN EN dle 6.10b [kN, kNm]					
			$M_y$	$V_z$	N	$M_x$	$M_z$	$V_y$
$M_{y,max}$	17,50	CO11(b)	<b>2348,55</b>	0,22	84,85	-0,69	0,46	-1,10
$V_{z,max}$	0,35	CO11(b)	-33,74	<b>283,98</b>	89,60	-0,22	-0,86	<b>-0,14</b>
$N_{max}$	27,23	CO11(b)	2250,03	-56,00	<b>92,22</b>	-0,56	0,21	-0,18

	Pozice dx [m]	Kombinace	ČSN EN dle 6.10a [kN, kNm]					
			$M_y$	$V_z$	N	$M_x$	$M_z$	$V_y$
$M_{y,max}$	17,50	CO11(a)	<b>2013,36</b>	0,19	72,54	-0,59	0,40	-0,94
$V_{z,max}$	0,35	CO11(a)	-28,91	<b>-243,09</b>	76,49	-0,19	<b>-0,71</b>	-0,11
$N_{max}$	27,23	CO11(a)	1930,27	-154,14	<b>78,81</b>	-0,48	0,19	-0,16

Tabulka 36 Maximální vnitřní síly dle ČSN EN

Bude posouzeno spřažení pro maximální posouvající sílu a také únosnost navržených trnů.

Hlavní váha bude kladena na momentovou únosnost hlavních nosníků a napětí vznikající na ocelovém profilu a betonové desce.

### 15.3 Srovnání maximálních ohybových momentů

V podkapitolách níže lze vidět maximální ohybové momenty podle jednotlivých norem a jejich hodnoty podle druhu zatížení a přenášejímu průřezu.

Dále lze vidět srovnání mezi hodnotami ohybových momentů podle ČSN. Hodnoty ve sloupci „ČSN“ jsou hodnoty získané statickým výpočtem v programu Scia Engineer 2013.0 s uvažováním spolupůsobení mezi krajními a vnitřními nosníky. Hodnoty ve sloupci „ČSN 1988“ jsou hodnoty ohybových momentů převzaté ze statického výpočtu z roku 1988, který lze najít jako PŘÍLOHU 1 tohoto dokumentu.

#### 15.3.1 Krajní nosník

	ČSN [kNm]	ČSN EN [kNm]		
		6.10a	6.10b	
základní	1079,83	1325,24	1126,95	Stálé
dlouhodobý	189,48	173,91	147,89	Dlouhodobé
krátkodobý	781,32	354,72	886,79	Užitné
Σ	2050,63	1853,87	2161,63	Σ

Tabulka 37 Srovnání hodnot ohybových momentů pro krajní nosník

Vidíme, že hodnoty momentů vycházejí nejvyšší podle ČSN EN, kombinace 6.10b. Toto však neznamená, že pro tuto kombinaci vyjde nejvyšší také jednotkový posudek, respektive posouzení napětí v jednotlivých vláknech průřezu a proto bude tento posudek proveden pro všechny tři kombinace.

	ČSN [kNm]	ČSN 1988 [kNm]
základní	1079,83	1030,2
dlouhodobý	189,48	183,5
krátkodobý	781,32	699,4
Σ	2050,63	1913,1
Nárůst [%]	7,2%	

Tabulka 38 Srovnání vlastního výpočtu a výpočtu z roku 1988

U krajního nosníku došlo k nárůstu ohybových momentů ve všech fázích zatěžování a to z důvodu rozdílu v přístupu k modelu konstrukce. U autorova výpočtu dle ČSN i ČSN EN bylo uvažováno se spolupůsobením vnitřních a krajních nosníků a to z důvodu spojení těchto nosníků příčníky pomocí svarových spojů. Tímto došlo k přetížení krajních nosníků.

### 15.3.2 Vnitřní nosník

	ČSN [kNm]	ČSN EN [kNm]		
		6.10a	6.10b	
základní	1172,25	1438,67	1223,4	stálé
dlouhodobý	205,78	188,87	160,61	dlouhodobé
krátkodobý	849,82	385,82	964,54	užitné
Σ	2227,85	2013,36	2348,55	Σ

Tabulka 39 Srovnání hodnot ohybových momentů pro vnitřní nosník

Platí to samé, jako pro krajní nosník, viz kapitola 15.3.1 tohoto dokumentu.

	ČSN [kNm]	ČSN 1988 [kNm]
základní	1172,25	1203,8
dlouhodobý	205,78	214,5
krátkodobý	849,82	932,5
Σ	2227,85	2350,8
Snížení [%]	-5,2%	

Tabulka 40 Srovnání vlastní ho výpočtu a výpočtu z roku 1998

Platí to samé, jako pro krajní nosník, viz kapitola 15.3.1 tohoto dokumentu, s tím rozdílem, že došlo k odlehčení vnitřního nosníku vlivem zavedení spolupůsobení mezi hlavními nosníky.

## 16 POSOUZENÍ SPŘAŽENÍ A SPŘAHOVACÍCH TRNŮ

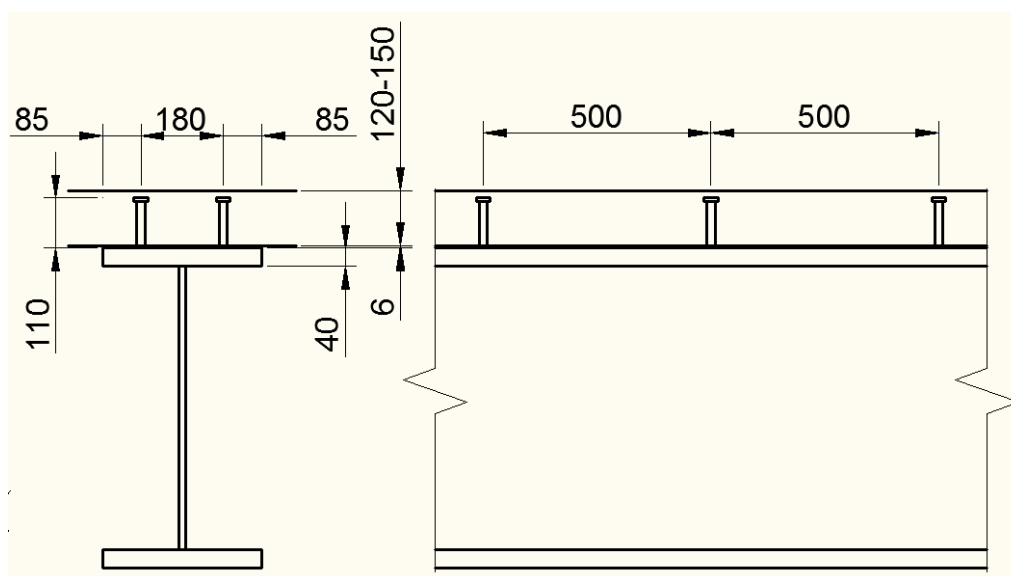
V této kapitole bude provedeno posouzení a porovnání spřažení podle norem ČSN a ČSN EN. Toto posouzení bude provedeno podle teorie pružnosti, jelikož tak bylo provedeno v původním statickém posudku.

### 16.1 Posouzení dle ČSN

Posudek je převzat ze statického výpočtu Vítkovické mostárny z roku 1988, který je přílohou této diplomové práce.

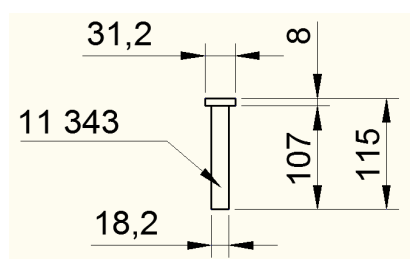
#### 16.1.1 Geometrie

Geometrie byla navržena s ohledem na únosnost a také doporučené maximální a minimální vzdálenosti podle ČSN 41 1343 a směrnice pro spřažené ocelobetonové konstrukce – VÚPS Praha 1978.



Obr. 41 Schéma rozmístění trnů na stávajících nosnících

Vzdálenost:	- mezi trny podélně	$l_{pod} =$	500	mm
	- mezi trny příčně	$l_{pr} =$	180	mm
	- od okraje pásnice	$e =$	85	mm



Obr. 42 Rozměry trnu

Geometrie stahovacího trnu:

-	průměr trnu	$d$	18,2	mm
-	průměr hlavy trnu	$d_{hl}$	31,2	mm
-	výška hlavy	$h_{hl}$	8,0	mm
-	celková délka trnu	$l$	115,0	mm
-	odtavená délka		5,0	mm
-	smyková plocha	$A_s$	260	mm <sup>2</sup>

### 16.1.2 Smyková únosnost trnu

- Materiály Beton třídy III (B20)  
Trny – ocel 11 343
- Výpočtové namáhání trnu pro dané materiály  $R_t = 110$  MPa
- Smyková plocha trnu  $A_s = 260$  mm<sup>2</sup>
- Smyková únosnost jednoho trnu  $F_{v,1} = R_t A_s = 110 \cdot 260 \cdot 10^{-3} = 28,6$  kN

Smyková únosnost jednoho trnu byla přebrána z výpočtu dle ČSN z roku 1988. Únosnost trnu je spočítána jako násobek smykové plochy trnu a snížené meze kluzu pro smyk použité oceli.

Mez kluzu ve smyku  $R_t \approx \frac{215}{1,15 \cdot \sqrt{3}} \approx 110$  MPa

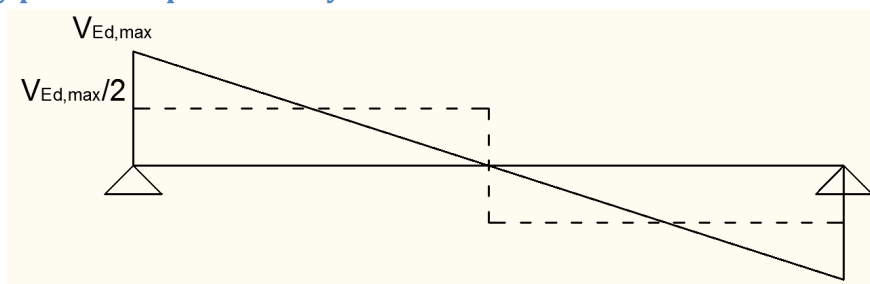
### 16.1.3 Počet a rozmístění trnů

Návrh počtu a rozmístění stahovacích trnů podle výše uvedené směrnice je obsažen v původním statickém výpočtu, který lze najít jako přílohu této diplomové práce.

Pro vnitřní i krajní nosník je navržen stejný počet a rozmístění stahovacích trnů s ohledem na únosnost a minimální a maximální vzdálenosti stahovacích trnů. Navržený počet trnů značně převyšuje nutný počet trnů dle statického výpočtu.

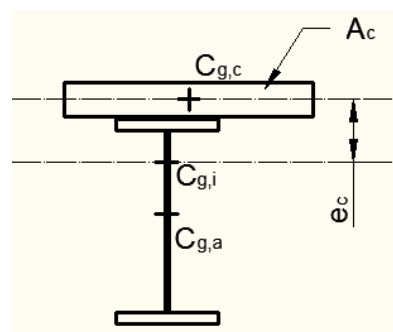
Spřahovací trny jsou navrženy po celé délce hlavního nosníku ve dvojici po vzdálenosti 500 mm. Celkový počet stahovacích trnů na jednom nosníku je 136 kusů (68 pro polovinu nosníku).

### 16.1.4 Nutný počet trnů pro změněný model konstrukce



Obr. 43 schéma pro posouzení spřahovacích trnů

- $V_{Ed,dl}$ ... maximální posouvající síla od dlouhodobého zatížení
- $V_{Ed,kr}$ ... maximální posouvající síla od krátkodobého zatížení
- $n$ ... poměr modulů pružnosti pro dané zatížení
- $I_{eff}$ ... efektivní moment setrvačnosti ideálního průřezu
- $A_c$ ... plocha betonu
- $e_c$ ... vzdálenost těžiště betonu od těžiště ideálního průřezu
- $S_c$ ... statický moment plochy betonové plochy k těžišti ideálního průřezu  $S_c = A_c e_c / n$
- $v_{l,Ed}$ ... podélná smyková síla [kN/m]  $v_{l,Ed} = V_{Ed} S_c / I_{eff}$
- $L$ ... délka prostého nosníku
- $n_{1/2}$ ... nutný počet spřahovacích trnů pro polovinu nosníku
- $n_d$ ... navržený počet trnů pro plné spřažení



Obr. 44 Schéma průřezu

$$n = (v_{l,Ed,dl} + v_{l,Ed,kr}) \cdot L / 2 \leq n_d$$

$n_d = 68$  trnů

Pozn.: Výpočet dle ČSN z roku 1988 počítal toto posouzení pro polovinu maximální posouvající síly. Počítal tedy s předpokladem redistribuce smykového napětí po délce nosníku a do výpočtu vnáší  $V_{ed,i}/2$ .

- Krajní hlavní nosník

n 68 ks

Krátkodobé nahodilé zatížení

$A_c$	97750	mm <sup>2</sup>
$e_{ic}$	309	mm
n	7,9	-
$S_c$	3,826E+06	mm <sup>3</sup>
$I_{eff}$	4,927E+09	mm <sup>4</sup>
$S_c/I_{eff}$	7,766E-04	mm <sup>-1</sup>
$V_{Ed}$	90,07	kN

$v_l$	6,995E-02	kN/mm
-------	-----------	-------

$P_{Rd}$	28,6	kN
----------	------	----

$V_{L1/2}$	651,14	kN
$L_{1/2}$	16800	mm
$n_{L1/2}$	23	ks

Dlouhodobé nahodilé zatížení

$A_c$	97750	mm <sup>2</sup>
$e_{ic}$	377	mm
n	27,7	-
$S_c$	1,331E+06	mm <sup>3</sup>
$I_{eff}$	3,885E+09	mm <sup>4</sup>
$S_c/I_{eff}$	3,426E-04	mm <sup>-1</sup>
$V_{Ed}$	22,1	kN

$v_l$	7,572E-03	kN/mm
-------	-----------	-------

VYHOVÍ

Tabulka 41 Posouzení spřažení dle ČSN

- Vnitřní hlavní nosník

n 68 ks

Krátkodobé nahodilé zatížení

$A_c$	115000	mm <sup>2</sup>
$e_{ic}$	322	mm
n	7,9	-
$S_c$	4,692E+06	mm <sup>3</sup>
$I_{eff}$	5,695E+09	mm <sup>4</sup>
$S_c/I_{eff}$	8,238E-04	mm <sup>-1</sup>
$V_{Ed}$	103,17	kN

$v_l$	8,499E-02	kN/mm
-------	-----------	-------

$P_{Rd}$	28,6	kN
----------	------	----

$V_{L1/2}$	793,77	kN
$L_{1/2}$	16800	mm
$n_{L1/2}$	28	ks

Dlouhodobé nahodilé zatížení

$A_c$	115000	mm <sup>2</sup>
$e_{ic}$	398	mm
n	27,7	-
$S_c$	1,653E+06	mm <sup>3</sup>
$I_{eff}$	4,348E+09	mm <sup>4</sup>
$S_c/I_{eff}$	3,802E-04	mm <sup>-1</sup>
$V_{Ed}$	25	kN

$v_l$	9,505E-03	kN/mm
-------	-----------	-------

VYHOVÍ

Tabulka 42 Posouzení spřažení dle ČSN



Pro oba nosníky se jedná o plné sprážení s bezpečnou rezervou.

## 16.2 Posouzení dle ČSN EN 1994-1-1

Posouzení je provedeno podle výše uvedené normy a veškeré odkazy v této kapitole se vztahují na tuto normu, pokud není uvedeno jinak.

### 16.2.1 Materiály

• Beton	třída III (C20) $\approx$ C16/20	$f_{ck} =$	16	MPa
		$\gamma_c =$	1,5	-
		$f_{cd} =$	10,67	MPa
		$E_{cm} =$	26,5	GPa
		$A_c =$	120000	mm <sup>2</sup>
			102000	mm <sup>2</sup>

(srovnání materiálů dle jednotlivých norem viz kapitola 4.2 tohoto dokumentu)

Podle ČSN EN 1994-1-1 je minimální kvalita betonu pro použití této normy C20/25 čemuž výše uvedený beton nevyhovuje. Pro účely srovnání výpočtů podle ČSN a ČSN EN by měl být postup dostatečně přesný.

• Spřah. trny	ocel 11 343 $\approx$ S235 (podle normy hutního výrobku ČSN 41 1343)	$f_y =$	195	MPa
		$f_u =$	310	MPa
		$E_a =$	210	GPa
		$\gamma_a =$	1,0	-
• Ocelový nosník	ocel 11 378 $\approx$ S235 (podle ČSN 41 1378)	$f_y =$	225	MPa
		$f_u =$	340	MPa
		$E_a =$	210	GPa
		$\gamma_a =$	1,0	-
		$A_a =$	40040 (36680)	mm <sup>2</sup>

### 16.2.2 Kontrola geometrie

• Vzdálenost mezi stahovacími prvky					
$l_{pod} \geq 5d = 5 \cdot 18,2 =$	91	mm	< 500	mm	VYHOVÍ
$l_{pr} \geq 2,5d = 2,5 \cdot 18,2 =$	45,5	mm	< 180	mm	VYHOVÍ
					[dle 6.6.5.7 (4)]
$l \leq 22t_f \sqrt{235/f_y} = 22 \cdot 40 \sqrt{235/225} =$	900	mm	> 500	mm	VYHOVÍ
$t_f \dots$ tloušťka pásnice nosníku					[dle 6.6.5.5 (2)]
• Vzdálenost od okraje tlačené pásnice					
$e \leq 9t_f \sqrt{235/f_y} = 22 \cdot 40 \sqrt{235/225} =$	368	mm	> 85	mm	VYHOVÍ
					[dle 6.6.5.5 (2)]

- Geometrie trnu
  - Průměr trnu  $d \leq 2,5t_f = 2,5 \cdot 40 = 100$  mm  $> 18,2$  mm VYHOVÍ [dle 6.6.5.7 (5)]
  - Výška trnu  $h \geq 3d = 3 \cdot 18,2 = 55$  mm  $< 115$  mm VYHOVÍ [dle 6.6.5.6 (1)]
  - Průměr hlavy trnu  $d_{hl} \geq 1,5d = 1,5 \cdot 18,2 = 27,3$  mm  $< 31,2$  mm VYHOVÍ
  - Výška hlavy trnu  $h_{hl} \geq 0,4d = 0,4 \cdot 18,2 = 7,3$  mm  $< 8,0$  mm VYHOVÍ [dle 6.6.5.6 (2)]

### 16.2.3 Smyková únosnost trnu

- Geometrie trnu
  - $d = 18,2$  mm
  - $h_{sc} = 110$  mm
  - $h_{sc}/d = 110/18,2 = 6,04$  -
  - $\alpha = 1,0$  - (pro  $h_{sc}/d > 4$ ) [dle 6.6.3.1 (6.21)]

- Smyková únosnost

$$P_{Rd} = \min \left( \frac{0,8f_u\pi d^2}{4\gamma_v}; \frac{0,29\alpha d^2 \sqrt{f_{ck}E_{cm}}}{\gamma_v} \right) = \underline{\underline{50,04 \text{ kN}}}$$

$$P_{Rd} = \frac{0,8f_u\pi d^2/4}{\gamma_v} = \frac{0,8 \cdot 310 \cdot \pi \cdot 18,2^2/4}{1,25} = 51,61 \text{ kN} \quad [\text{dle 6.6.3.1 (6.18)}]$$

$$P_{Rd} = \frac{0,29\alpha d^2 \sqrt{f_{ck}E_{cm}}}{\gamma_v} = \frac{0,29 \cdot 1,0 \cdot 18,2^2 \cdot \sqrt{16 \cdot 26500}}{1,25} = 50,04 \text{ kN} \quad [\text{dle 6.6.3.1 (6.19)}]$$

### 16.2.4 Posouzení spřažení pro provedený počet a rozmístění spřahovacích trnů

- Krajní hlavní nosník (rozhodující kombinace 6.10b)

$n = 68$  ks

Krátkodobé nahodilé zatížení

$A_c$	97750	mm <sup>2</sup>
$e_{ic}$	309	mm
$n$	7,9	-
$S_c$	3,817E+06	mm <sup>3</sup>
$I_{eff}$	4,923E+09	mm <sup>4</sup>
$S_c/I_{eff}$	7,753E-04	mm <sup>-1</sup>
$V_{Ed,kr}$	102,23	kN
$v_l$	7,926E-02	kN/mm
$P_{Rd}$	50	kN
$V_{L1/2}$	715,30	kN
$L_{1/2}$	16800	mm
$n_{L1/2}$	15	ks

Dlouhodobé nahodilé zatížení

$A_c$	97750	mm <sup>2</sup>
$e_{ic}$	377	mm
$n$	27,8	-
$S_c$	1,326E+06	mm <sup>3</sup>
$I_{eff}$	3,883E+09	mm <sup>4</sup>
$S_c/I_{eff}$	3,415E-04	mm <sup>-1</sup>
$V_{Ed,dl}$	17,25	kN
$v_l$	5,891E-03	kN/mm

VYHOVÍ

Tabulka 43 Posouzení spřažení podle ČSN EN

- Vnitřní hlavní nosník (rozhodující kombinace 6.10b)

n	68	ks
Krátkodobé nahodilé zatížení		
$A_c$	115000	mm <sup>2</sup>
$e_{ic}$	323	mm
n	7,9	-
$S_c$	4,681E+06	mm <sup>3</sup>
$I_{eff}$	5,691E+09	mm <sup>4</sup>
$S_c/I_{eff}$	8,226E-04	mm <sup>-1</sup>
$V_{Ed}$	117,09	kN
$v_l$	9,632E-02	kN/mm
$P_{Rd}$	50	kN

$V_{L1/2}$	870,05	kN
$L_{1/2}$	16800	mm
$n_{1/2}$	18	ks

VYHOVÍ

Tabulka 44 Posouzení spřažení podle ČSN EN

Dlouhodobé nahodilé zatížení		
$A_c$	115000	mm <sup>2</sup>
$e_{ic}$	398	mm
n	27,7	-
$S_c$	1,652E+06	mm <sup>3</sup>
$I_{eff}$	4,348E+09	mm <sup>4</sup>
$S_c/I_{eff}$	3,799E-04	mm <sup>-1</sup>
$V_{Ed}$	19,1	kN
$v_l$	7,257E-03	kN/mm

Pro oba nosníky se jedná o plné spřažení s dostatečnou rezervou.

### 16.3 Porovnání únosnosti trnu dle ČSN a ČSN EN

Výpočet únosnosti trnu se podle jednotlivých norem významně liší. Zatímco ČSN vychází z meze kluzu materiálu pro smyk, tedy meze kluzu snížené podle vztahu:

$$R_t = f_v / \gamma \cdot \sqrt{3}$$

a tento násobí smykovou plochou trnu:

$$A_s = \frac{\pi d^2}{4}$$

smyková únosnost trnu se pak spočítá jako

$$F_{v,1} = R_t A_s$$

Naproti tomu smyková únosnost trnu podle ČSN EN vychází z meze pevnosti materiálu trnu upravené součiniteli:

$$f_{u,trnu} = \frac{0,8 f_u}{\gamma_v}$$

a tuto násobí smykovou plochou trnu:

$$A_s = \frac{\pi d^2}{4}$$

únosnost trnu se pak spočítá jako

$$P_{Rd} = \frac{0,8 f_u \pi d^2 / 4}{\gamma_v}$$

Rozdíl v těchto přístupech vytváří značný rozdíl mezi výslednou smykovou únosností trnu. V případě našeho výpočtu, kdy:

Dle ČSN :  $F_{v,1} = 28,6$  kN

Dle ČSN EN:  $P_{Rd} = 51,61$  kN

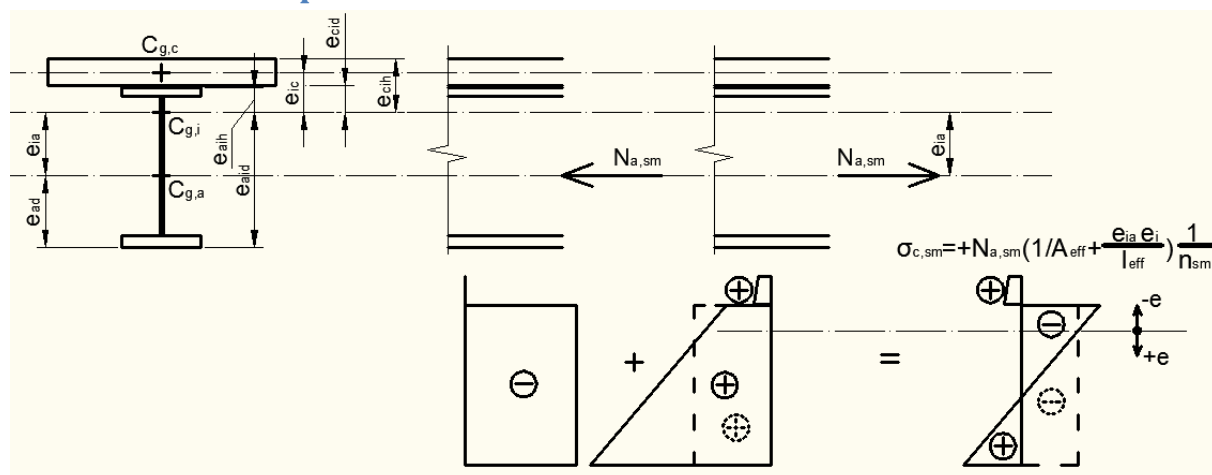
Je rozdíl takřka dvojnásobný, nehledě na to, že při výpočtu dle ČSN EN rozhoduje únosnost betonu. Pro oba výpočty stávající konstrukce vyhoví s dostatečnou rezervou.

## 17. PŘÍRŮSTEK NAPĚTÍ OS SMRŠTĚNÍ BETONU

Vlivem stárnutí betonu dochází k jeho objemovým změnám. Sprážením ocelobetonového nosníku však brání vzájemnému posunu betonové a ocelové části a vznikají tak na průřezu přídatná napětí.

V betonové části vzniká tah a na ocelovém průřezu vznikají tah i tlak.

### 17.1 Přírůstek napětí v betonové desce



Obr. 45 Schéma pro stanovení přírůstku napětí od smrštění betonu na betonové desce

Průřezové charakteristiky jsou vypočteny podle kapitoly 5 tohoto dokumentu.

Poměrné přetvoření od smrštění betonu  $\epsilon_{c,sm} = \begin{matrix} 180 \cdot 10^{-6} & - & \text{dle ČSN} \\ 200 \cdot 10^{-6} & - & \text{dle ČSN EN} \end{matrix}$

Osová tlaková síla na ocelovém průřezu  $N_{a,sm} = \epsilon_{c,sm} A_a E_a$  kN

Přírůstek napětí na betonové desce  $\sigma_{c,sm} = |N_{a,sm}| \cdot \left( \frac{1}{A_{eff}} + \frac{e_{ia} e_i}{I_{eff}} \right) \frac{1}{n_{sm}}$  [MPa]

Vzdálenost vláken desky od těžiště  
spráženého průřezu

spodní vlákna  $e_{cid}$

horní vlákna  $e_{cih}$

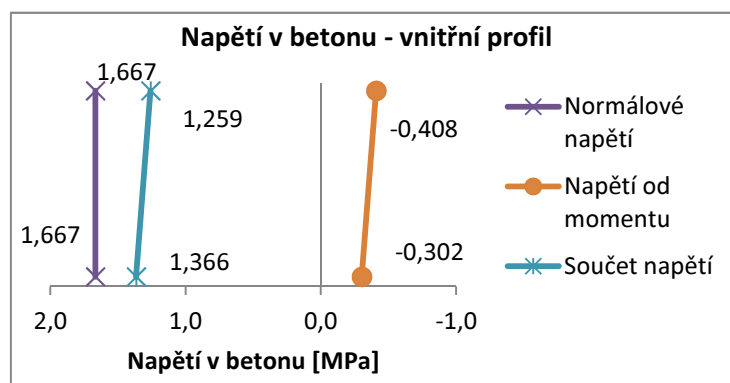
Výpočet přírůstků napětí na betonové desce je proveden v programu Microsoft Excel a přiložen jako PŘÍLOHA 6 tohoto dokumentu.

#### 17.1.1 Přírůstek napětí v betonu dle ČSN

- Vnitřní nosník (n=19,8)

e <sub>cid</sub>	326	mm	
e <sub>cih</sub>	441	mm	
	σ <sub>N,i</sub>	σ <sub>M,i</sub>	Σ
σ <sub>c,sm,d</sub>	1,667	-0,302	1,366
σ <sub>c,sm,h</sub>	1,667	-0,408	1,259

Tabulka 45 Hodnoty přírůstků napětí pro spodní a horní vlákna betonové desky

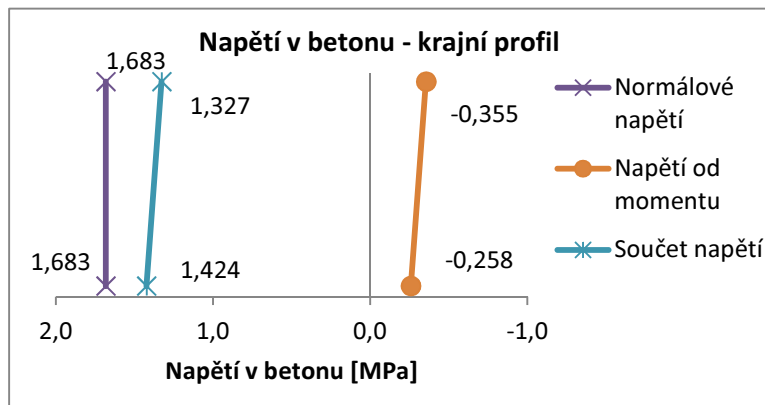


Obr. 46 Přírůstek napětí na betonové desce

- Krajní nosník (n=19,8)

e <sub>cid</sub>	307	mm	
e <sub>cih</sub>	422	mm	
	σ <sub>N,i</sub>	σ <sub>M,i</sub>	Σ
σ <sub>c,sm,d</sub>	1,683	-0,258	1,424
σ <sub>c,sm,h</sub>	1,683	-0,355	1,327

Tabulka 47 Hodnoty přírůstků napětí pro spodní a horní vlákna betonové desky



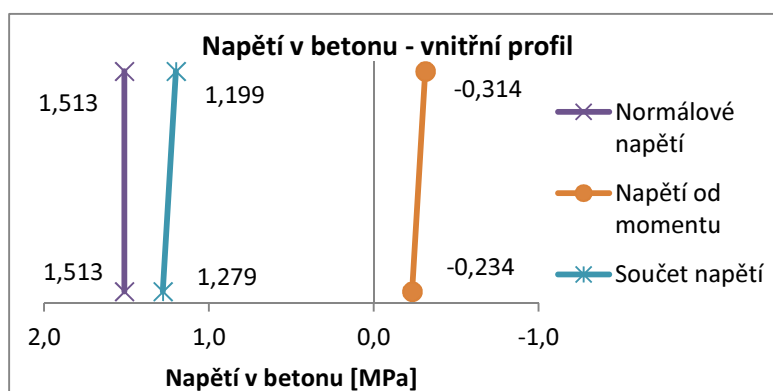
Tabulka 46 Přírůstek napětí na betonové desce

### 17.1.2 Přírůstek napětí v betonové desce dle ČSN EN

- Vnitřní nosník (n= 24,9)

$e_{cid}$	337	mm	
$e_{cih}$	452	mm	
	$\sigma_{N,i}$	$\sigma_{M,i}$	$\Sigma$
$\sigma_{c,sm,d}$	1,513	-0,234	1,279
$\sigma_{c,sm,h}$	1,513	-0,314	1,199

Tabulka 48 Hodnoty přírůstků napětí pro spodní a horní vlákna betonové desky

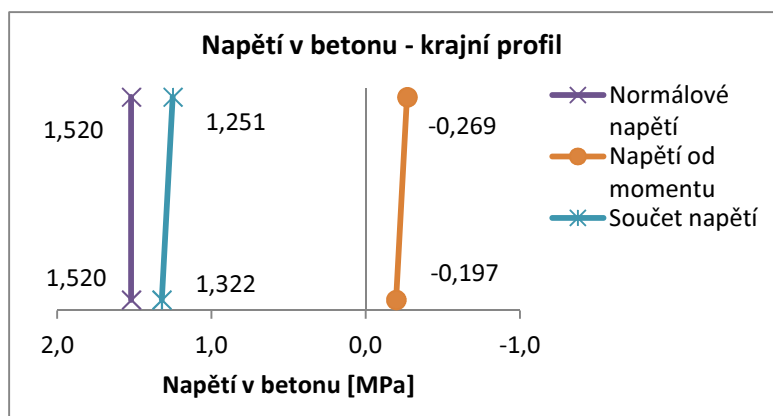


Obr. 47 Přírůstek napětí v betonové desce

- Krajní nosník (n= 25,0)

e <sub>cid</sub>	316	mm	
e <sub>cih</sub>	431	mm	
	σ <sub>N,i</sub>	σ <sub>M,i</sub>	Σ
σ <sub>c,sm,d</sub>	1,520	-0,197	1,322
σ <sub>c,sm,h</sub>	1,520	-0,269	1,251

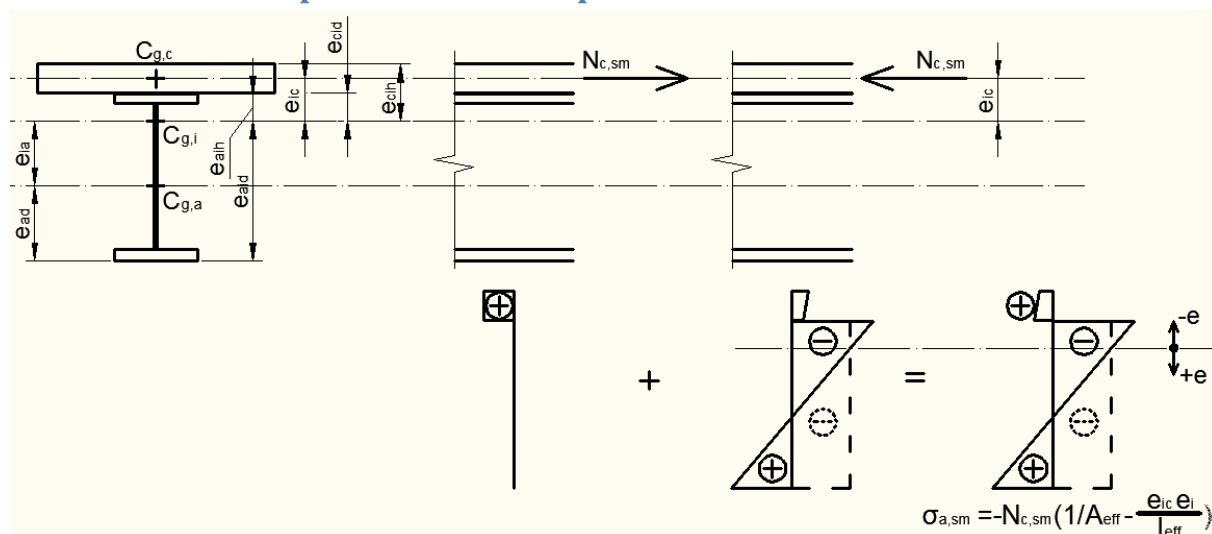
Tabulka 49 Hodnoty přírůstků napětí pro spodní a horní vlákna betonové desky



Obr. 48 Přírůstek napětí v betonové desce

Od smrštění vzniká na betonové desce tahové napětí. Toho napětí nebude přičítáno k celkovému napětí na betonové desce při posouzení momentové únosnosti, protože by napětí pouze snižovalo.

## 17.2 Přírůstek napětí na ocelovém průřezu



Obr. 49 Schéma pro stanovení přírůstku napětí od smrštění betonu na ocelovém nosníku

Průřezové charakteristiky jsou vypočteny podle kapitoly 5 tohoto dokumentu.

Poměrné přetvoření od smrštění betonu	$\epsilon_{c,sm} =$	$180 \cdot 10^{-6}$	-	dle ČSN
		$200 \cdot 10^{-6}$	-	dle ČSN EN
Osová tlaková síla na betonovou desku	$N_{c,sm} =$	$\epsilon_{c,sm} A_c E_c$	kN	
Přírůstek napětí na ocelovém průřezu	$\sigma_{a,sm} =$	$- N_{c,sm}  \cdot \left( \frac{1}{A_{eff}} - \frac{e_{ic} e_i}{I_{eff}} \right)$	[MPa]	
Vzdálenost vláken desky od těžiště spřaženého průřezu	spodní vlákna	$e_{aid}$		
	horní vlákna	$e_{aih}$		

Výpočet přírůstků napětí na betonové desce je proveden v programu Microsoft Excel a přiložen jako PŘÍLOHA 6 tohoto dokumentu.

### 17.2.1 Přírůstek napětí v oceli dle ČSN

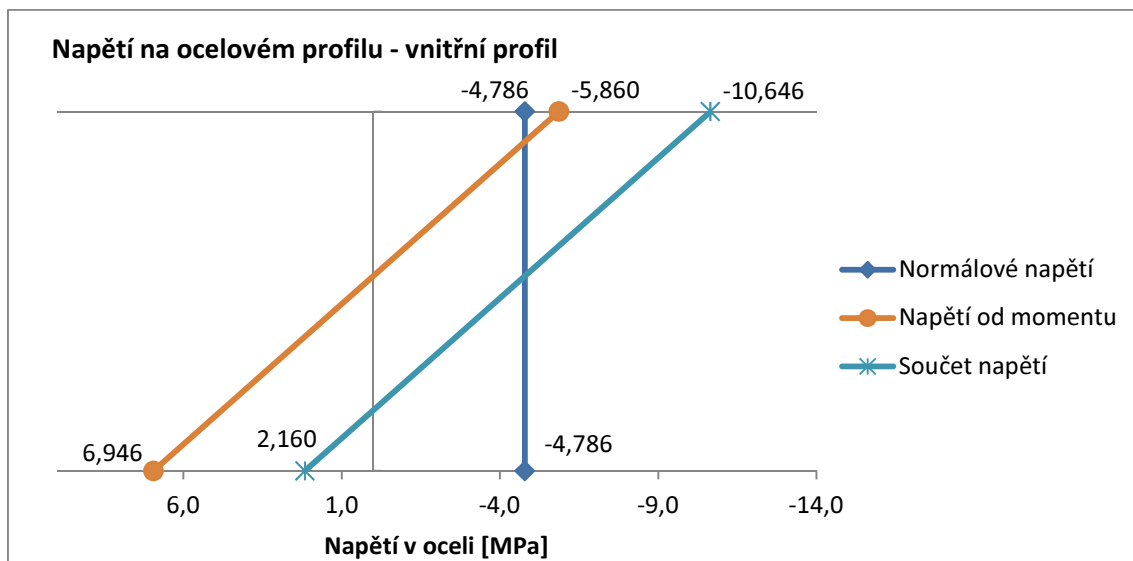
- Vnitřní profil (n= 19,8)
- Krajní profil (n= 19,8)

$e_{aid}$	380	mm	
$e_{aih}$	320	mm	
	$\sigma_{N,i}$	$\sigma_{M,i}$	$\Sigma$
$\sigma_{a,sm,d}$	-4,786	6,946	2,160
$\sigma_{a,sm,h}$	-4,786	-5,860	-10,646

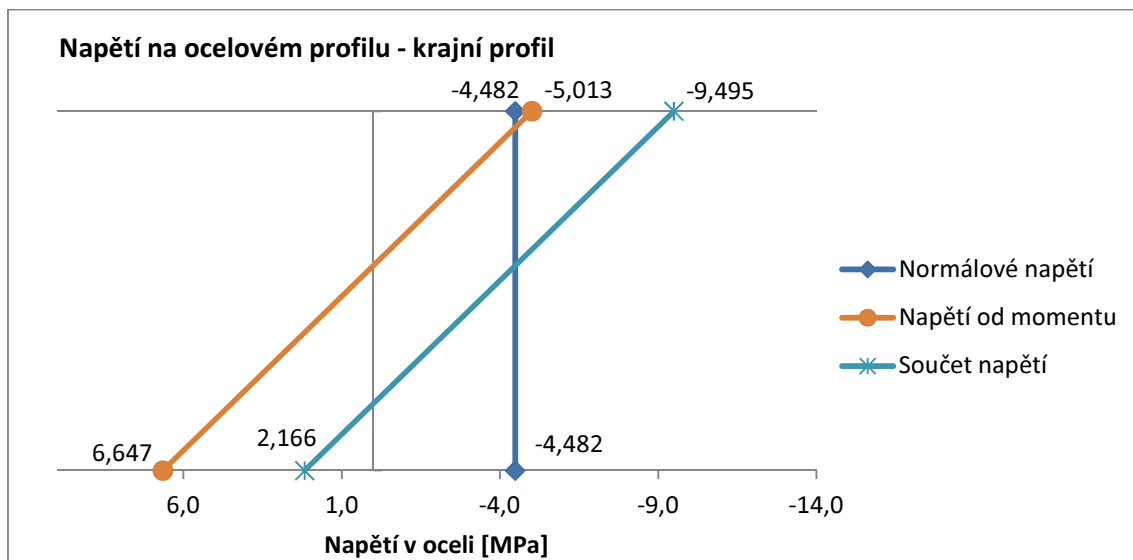
Tabulka 50 Hodnoty přírůstků napětí pro spodní a horní vlákna na ocelovém průřezu

$e_{aid}$	399	mm	
$e_{aih}$	301	mm	
	$\sigma_{N,i}$	$\sigma_{M,i}$	$\Sigma$
$\sigma_{a,sm,d}$	-4,482	6,647	2,166
$\sigma_{a,sm,h}$	-4,482	-5,013	-9,495

Tabulka 51 Hodnoty přírůstků napětí pro spodní a horní vlákna na ocelovém průřezu



Obr. 50 Přírůstek napětí na ocelovém profilu – vnitřní hlavní nosník



Obr. 51 Přírůstek napětí na ocelovém profilu - krajní hlavní nosník

### 17.2.2 Přírůstek napětí v oceli dle ČSN EN

- Vnitřní profil (n= 24,9)

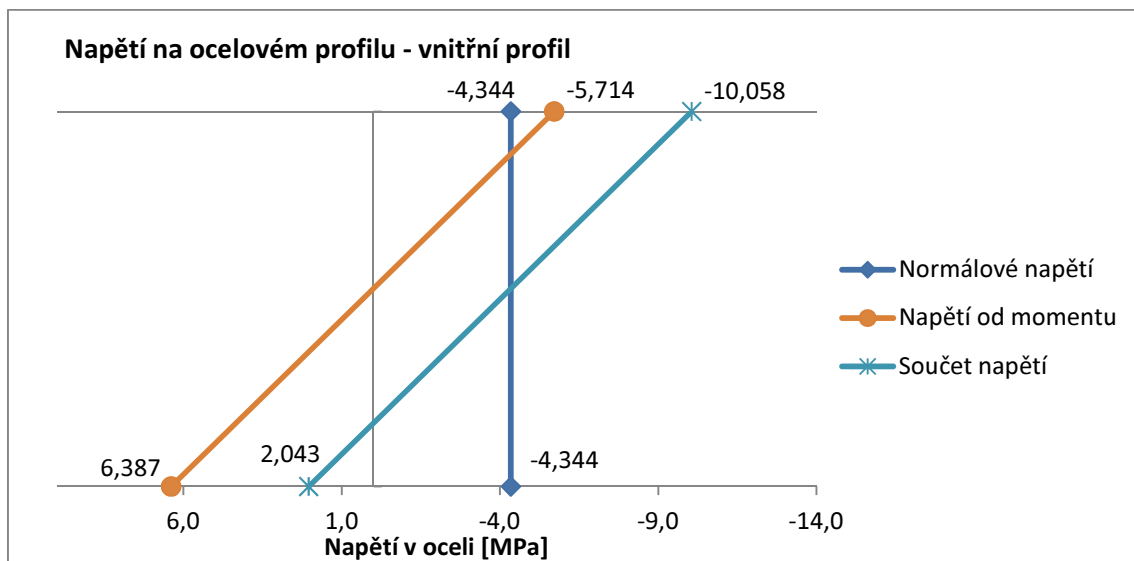
$e_{aid}$	369	mm	
$e_{aih}$	331	mm	
	$\sigma_{N,i}$	$\sigma_{M,i}$	$\Sigma$
$\sigma_{a,sm,d}$	-4,344	6,387	2,043
$\sigma_{a,sm,h}$	-4,344	-5,714	-10,058

Obr. 52 Hodnoty přírůstků napětí na ocelovém profilu pro spodní a horní vlákna

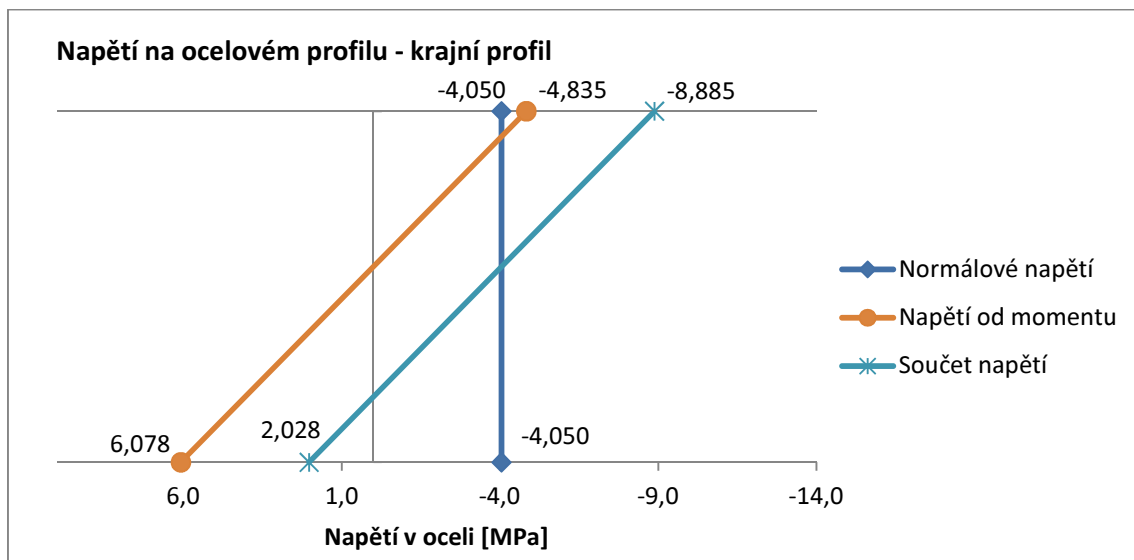
- Krajní profil (n=25,0)

$e_{aid}$	390	mm	
$e_{aih}$	310	mm	
	$\sigma_{N,i}$	$\sigma_{M,i}$	$\Sigma$
$\sigma_{a,sm,d}$	-4,050	6,078	2,028
$\sigma_{a,sm,h}$	-4,050	-4,835	-8,885

Obr. 53 Hodnoty přírůstků napětí na ocelovém profilu pro spodní a horní vlákna



Obr. 54 Přírůstek napětí na ocelovém profilu - vnitřní hlavní nosník



Obr. 55 Přírůstek napětí na ocelovém profilu - krajní hlavní nosník

Přírůstky napětí na ocelovém profilu mají stejné znaménko jako hodnoty napětí pro daná vlákna při mezním stavu únosnosti. Proto budou tyto hodnoty přičteny k hodnotám napětí z mezního stavu únosnosti – viz kapitola 18 tohoto dokumentu.



### 17.3 Srovnání přírůstků napětí dle jednotlivých norem

Vnitřní hlavní nosník [MPa]

	ČSN EN	ČSN
$\sigma_{a,sm,d}$	2,043	2,160
$\sigma_{a,sm,h}$	-10,058	-10,646
$\sigma_{c,sm,d}$	1,279	1,366
$\sigma_{c,sm,h}$	1,199	1,259

Krajní hlavní nosník [MPa]

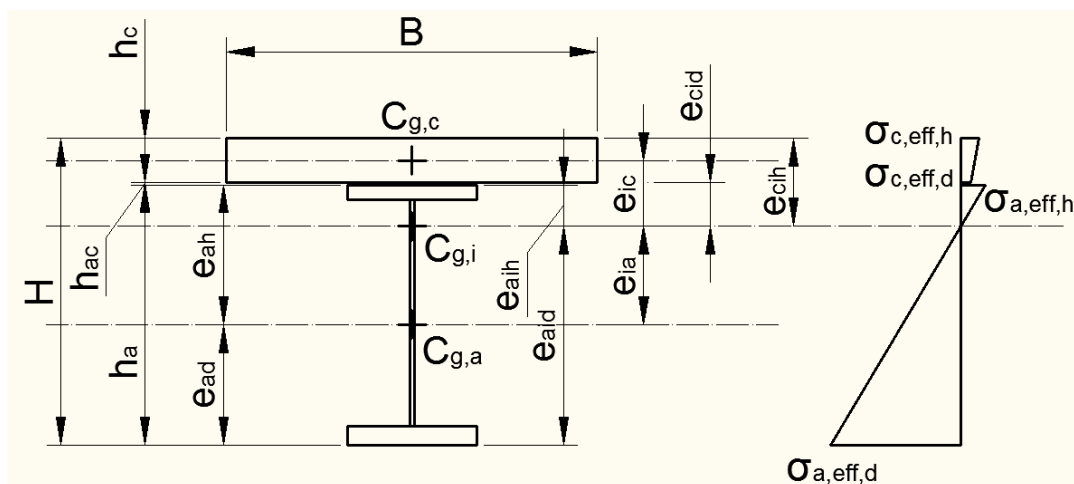
	ČSN EN	ČSN
$\sigma_{a,sm,d}$	2,028	2,166
$\sigma_{a,sm,h}$	-8,885	-9,495
$\sigma_{c,sm,d}$	1,322	1,424
$\sigma_{c,sm,h}$	1,251	1,327

Tabulka 52 Srovnání přírůstků napětí pro jednotlivá vlákna spřaženého průřezu dle daných norem

Lze pozorovat, že ačkoli je poměrné přetvoření od smrštění  $\epsilon_{sm}$ , podle normy ČSN rovno  $18 \cdot 10^{-5}$  a podle ČSN EN rovno  $20 \cdot 10^{-5}$ , nižší, ve výsledku vycházejí vyšší přírůstky napětí podle normy ČSN. Toto je zapříčiněno rozdílným přístupem ke stanovení hodnoty součinitele dotvarování a s tím spojené stanovení hodnoty modulu pružnosti a průřezových charakteristik ideálního průřezu. Výsledky jsou však velice podobné a rozdíl v hodnotách je vzhledem k mezi kluzu oceli zanedbatelný.

## 18. POSOUZENÍ HLAVNÍCH NOSNÍKŮ DLE ČSN

V následujících kapitolách budou posouzeny napětí vznikající na spřaženém průřezu od ohybového momentu a smrštění betonové desky. Toto napětí bude porovnáno s mezním napětím (výpočtovou/návrhovou mezí kluzu) pro danou normu.



Obr. 56 Schéma posuzovaných napětí na spřaženém průřezu

Pro jednotlivá zatížení:	ČSN	ČSN EN
	Základní	Stálá
	Nahodilá dlouhodobá	Stálá dlouhodobá
	Nahodilá krátkodobá	Užitná
	Smrštění betonu	Smrštění betonu

byly v kapitolách 5 a 6 tohoto dokumentu stanoveny průřezové charakteristiky ocelového a také spřaženého průřezu a to jak podle teorie elasticity, tak podle teorie plasticity (pouze pro ČSN EN). Výsledkem jsou veškeré potřebné hodnoty modulu průřezu pro stanovení napětí v uvažovaných vláknech příčného řezu.

Základní/Stálé zatížení:

$I_a$	... moment setrvačnosti ocelového profilu
$e_{ad}, e_{ah}$	... excentricity posuzovaných vláken na ocelovém profilu od těžiště ocelového profilu
$W_{a,d}, W_{a,h}$	... moduly ocelového průřezu

$$W_{a,i} = \frac{I_a}{e_{ai}}$$

$$\sigma_{a,i} = \frac{M_{zákl(stálé)}}{W_{a,i}}$$

Dlouhodobé a krátkodobé nahodilé/Dlouhodobé stálé a užité zatížení:

$I_{eff}$	... moment setrvačnosti ocelového profilu
$e_{aid}, e_{aih}, e_{cih}, e_{cid}$	... excentricity posuzovaných vláken od těžiště spřaž. průřezu
$W_{a,eff,d}, W_{a,eff,h}, W_{c,eff,d}, W_{c,eff,h}$	... moduly spřaž. průřezu
$M_i$	... ohybový moment od daného druhu zatížení (nahodilé – dlouhodobé, krátkodobé; stálé dlouhodobé, užité)
$n_i$	... poměr modulů pružnosti oceli a betonu pro uvažované zatížení

$$W_{a,eff,i} = \frac{I_{eff}}{e_{a,eff,i}} \quad W_{c,eff,i} = \frac{I_{eff}}{e_{c,eff,i}}$$

$$\sigma_{a,eff,i} = \frac{M_i}{W_{a,eff,i}} \quad \sigma_{c,eff,i} = \frac{M_i}{W_{c,eff,i} \cdot n_i}$$

Napětí od smrštění betonové desky:

Hodnoty přírůstků napětí od smrštění jsou vyčísleny podle postupu popsaného v kapitole 17 tohoto dokumentu. Výstupem tohoto výpočtu jsou napětí:

$$\sigma_{a,sm,d}, \sigma_{a,sm,h}, \sigma_{c,sm,d}, \sigma_{c,sm,h}$$

Celkové napětí v daném vlákně průřezu se spočítá podle:

$$\sigma_{a,d,celkové} = \sigma_{a,d} + \sigma_{a,eff,dl,d} + \sigma_{a,eff,kr,d} + \sigma_{a,sm,d}$$

$$\sigma_{a,h,celkové} = \sigma_{a,h} + \sigma_{a,eff,dl,h} + \sigma_{a,eff,kr,h} + \sigma_{a,sm,h}$$

$$\sigma_{c,d,celkové} = \sigma_{c,eff,dl,d} + \sigma_{c,eff,kr,d} + \sigma_{c,sm,d}$$

$$\sigma_{c,h,celkové} = \sigma_{c,eff,dl,h} + \sigma_{c,eff,kr,h} + \sigma_{c,sm,h}$$

Pozn.: Přírůstek napětí od smrštění se přičítá pouze v případě, pokud zvětšuje napětí v daném vlákně.

Velikosti a průběhy napětí na průřezu jsou spočítány v programu Microsoft Excel. Výstup z tohoto výpočtu lze najít v PŘÍLOZE 7 tohoto dokumentu.

V dalších kapitolách jsou tyto výsledky tabulkově a graficky zpracovány pro přehlednost a podle jednotlivých norem.

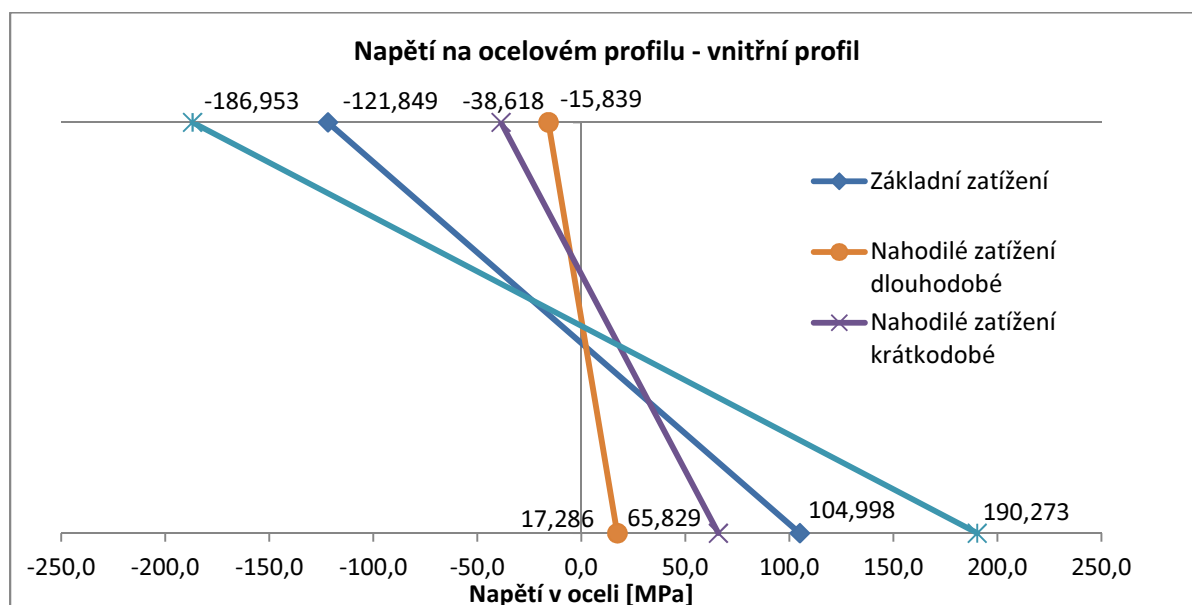
## 18.1 Posouzení spráženého průřezu dle ČSN

### A) VNITŘNÍ NOSNÍK

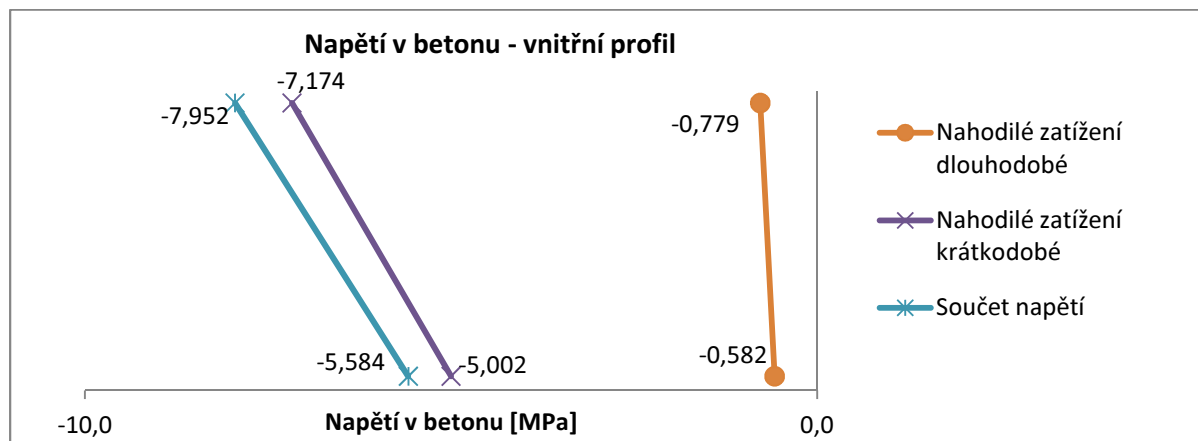
Zatížení	M [kNm]	W [mm <sup>3</sup> ]		σ <sub>a,d,i</sub>	σ <sub>a,h,i</sub>	n	σ <sub>c,d,i</sub>	σ <sub>c,h,i</sub>
Stálé zatížení	1172,250	W <sub>a,d</sub>	1,116E+07	104,998	-	-	-	-
		W <sub>a,h</sub>	9,620E+06	-	-121,849		-	-
Nahodilé dlouhodobé	205,780	W <sub>a,eff,d</sub>	1,190E+07	17,286	-	27,7	-	-
		W <sub>a,eff,h</sub>	1,299E+07	-	-15,839		-	-
		W <sub>c,eff,d</sub>	1,276E+07	-	-		-0,582	-
		W <sub>c,eff,h</sub>	9,542E+06	-	-		-	-0,779
Krátkodobé nahodilé	849,82	W <sub>a,eff,d</sub>	1,291E+07	65,829	-	7,9	-	-
		W <sub>a,eff,h</sub>	2,201E+07	-	-38,618		-	-
		W <sub>c,eff,d</sub>	2,151E+07	-	-		-5,002	-
		W <sub>c,eff,h</sub>	1,500E+07	-	-		-	-7,174
Smrštění betonu	-	-	-	2,160	-	19,8	-	-
		-	-	-	-10,646		-	-
		-	-	-	-		1,366	-
		-	-	-	-		-	1,259
		Σσ <sub>i</sub> [MPa]		190,273	-186,953		-5,584	-7,952
		f <sub>yd</sub> [MPa]	195,65		f <sub>cd</sub> [MPa]	11,538		
			97,3%	95,6%		48,4%	68,9%	

Tabulka 53 Shrnutí posudku napětí vznikajících ve vláknech průřezu

Pozn.: červeně vyznačená napětí se nezapočítávají do součtů napětí ve výše uvedené tabulce



Obr. 57 Napětí na ocelovém průřezu



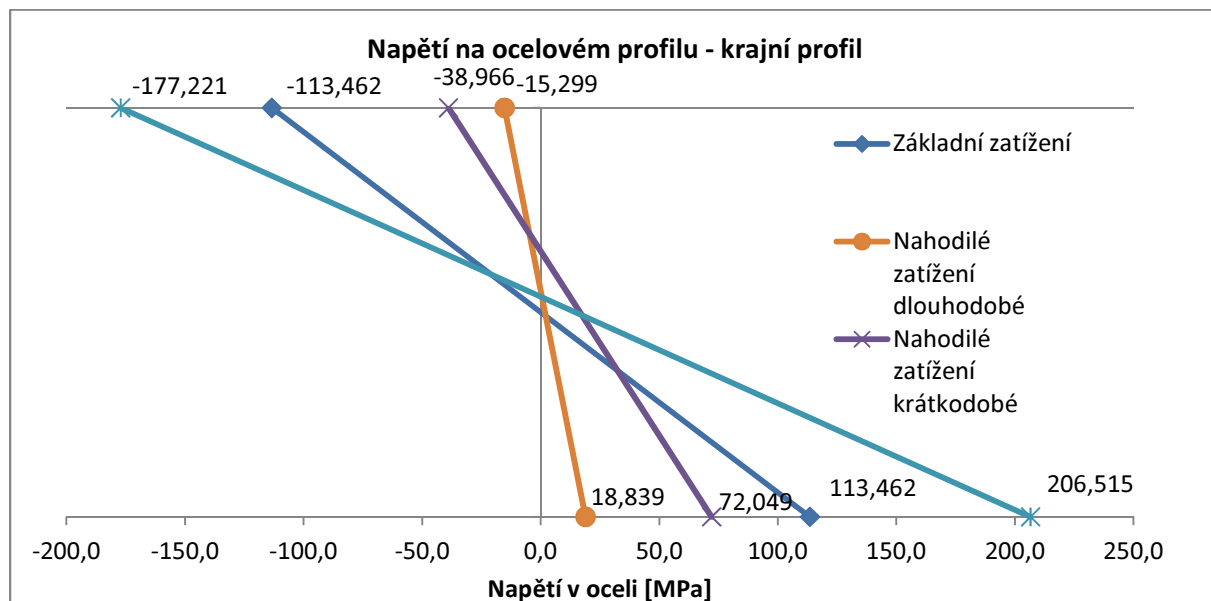
Obr. 58 Napětí v betonové desce

## B) KRAJNÍ NOSNÍK

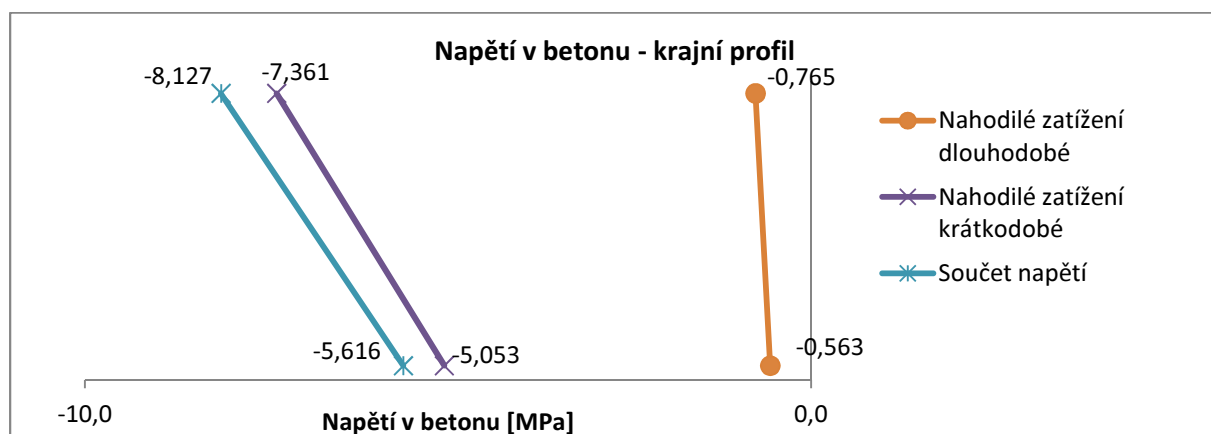
Zatížení	M [kNm]	W [mm <sup>3</sup> ]		σ <sub>a,d,i</sub>	σ <sub>a,h,i</sub>	n	σ <sub>c,d,i</sub>	σ <sub>c,h,i</sub>
Stálé zatížení	1079,830	W <sub>a,d</sub>	9,517E+06	113,462	-	-	-	-
		W <sub>a,h</sub>	9,517E+06	-	-113,462		-	-
Nahodilé dlouhodobé	189,480	W <sub>a,eff,d</sub>	1,006E+07	18,839	-	27,7	-	-
		W <sub>a,eff,h</sub>	1,239E+07	-	-15,299		-	-
		W <sub>c,eff,d</sub>	1,215E+07	-	-		-0,563	-
		W <sub>c,eff,h</sub>	8,938E+06	-	-		-	-0,765
Krátkodobé nahodilé	781,32	W <sub>a,eff,d</sub>	1,084E+07	72,049	-	7,9	-	-
		W <sub>a,eff,h</sub>	2,005E+07	-	-38,966		-	-
		W <sub>c,eff,d</sub>	1,957E+07	-	-		-5,053	-
		W <sub>c,eff,h</sub>	1,344E+07	-	-		-	-7,361
Smrštění betonu	-	-	-	2,166	-	19,8	-	-
		-	-	-	-9,495		-	-
		-	-	-	-		1,424	-
		-	-	-	-		-	1,327
		Σσ <sub>i</sub> [MPa]		206,515	-177,221		-5,616	-8,127
		f <sub>yd</sub> [MPa]		195,65		f <sub>cd</sub> [MPa]	11,538	
				105,6%	90,6%		48,7%	70,4%

Tabulka 54 Shrnutí posudku napětí vznikajících ve vláknech průřezu

Pozn.: červeně vyznačená napětí se nezapočítávají do součtů napětí ve výše uvedené tabulce



Obr. 59 Napětí na ocelovém průřezu



Obr. 60 Napětí v betonové desce

## 18.2 Posouzení spráženého průřezu dle ČSN EN

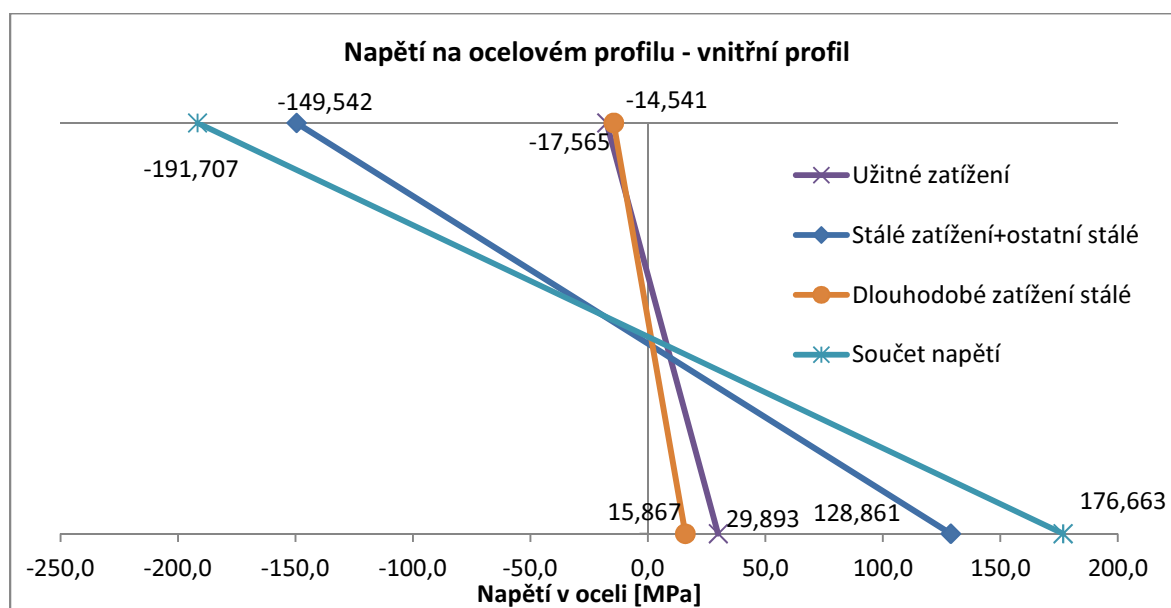
### 18.2.1 Zatížení dle 6.10a

#### A) VNITŘNÍ NOSNÍK

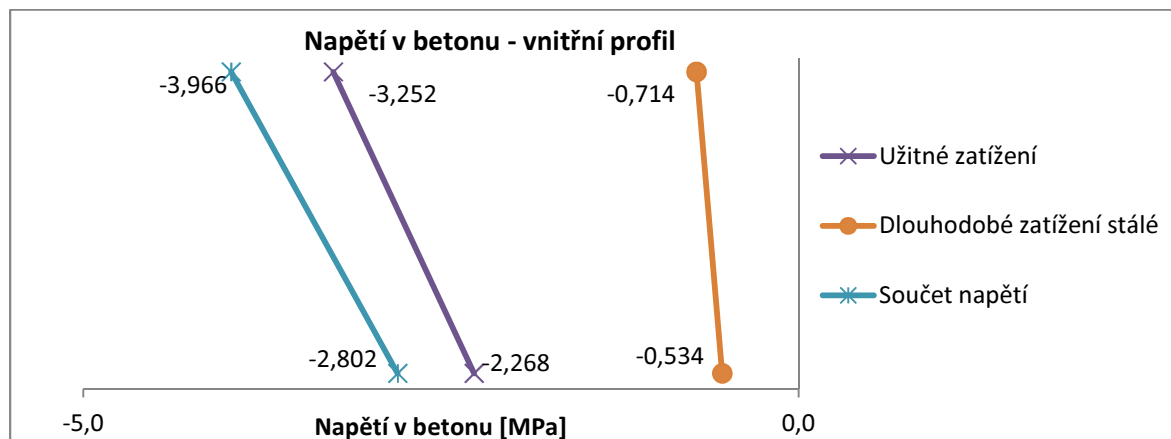
Zatížení	M [kNm]	W [mm <sup>3</sup> ]		σ <sub>a,d,i</sub>	σ <sub>a,h,i</sub>	n	σ <sub>c,d,i</sub>	σ <sub>c,h,i</sub>
Stálé zatížení	1438,670	W <sub>a,d</sub>	1,116E+07	128,861	-	-	-	-
		W <sub>a,h</sub>	9,620E+06	-	-149,542		-	-
Stálé dlouhodobé	188,870	W <sub>a,eff,d</sub>	1,190E+07	15,867	-	27,7	-	-
		W <sub>a,eff,h</sub>	1,299E+07	-	-14,541		-	-
		W <sub>c,eff,d</sub>	1,276E+07	-	-		-0,534	-
		W <sub>c,eff,h</sub>	9,540E+06	-	-		-	-0,714
Krátkodobé užité	385,82	W <sub>a,eff,d</sub>	1,291E+07	29,893	-	7,9	-	-
		W <sub>a,eff,h</sub>	2,196E+07	-	-17,565		-	-
		W <sub>c,eff,d</sub>	2,147E+07	-	-		-2,268	-
		W <sub>c,eff,h</sub>	1,497E+07	-	-		-	-3,252
Smrštění betonu	-	-	-	2,028	-	24,9	-	-
		-	-	-	-8,885		-	-
		-	-	-	-		1,322	-
		-	-	-	-		-	1,251
		Σσ <sub>i</sub> [MPa]		176,649	-190,534		-2,802	-3,966
		f <sub>yd</sub> [MPa]		225,00		f <sub>cd</sub> [MPa]	10,667	
				78,5%	84,7%		26,3%	37,2%

Tabulka 55 Shrnutí posudku napětí vznikajících ve vláknech průřezu

Pozn.: červeně vyznačená napětí se nezapočítávají do součtů napětí ve výše uvedené tabulce



Obr. 61 Napětí na ocelovém průřezu



Obr. 62 Napětí v betonové desce

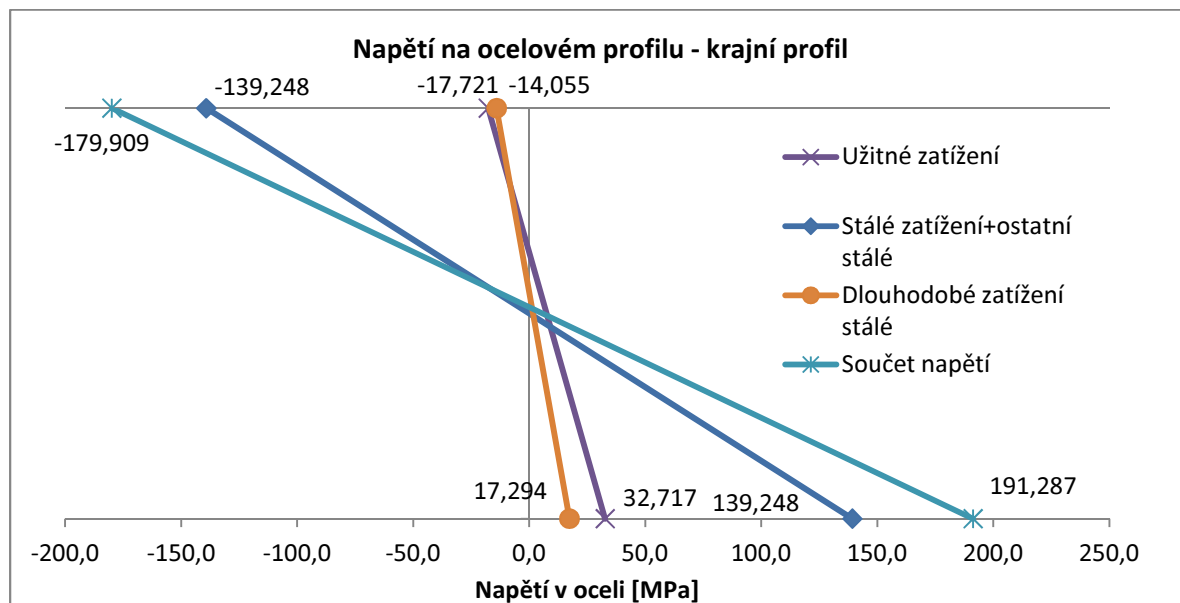
## B) KRAJNÍ NOSNÍK

Zatížení	M [kNm]	W [mm <sup>3</sup> ]		σ <sub>a,d,i</sub>	σ <sub>a,h,i</sub>	n	σ <sub>c,d,i</sub>	σ <sub>c,h,i</sub>
Stálé zatížení	1325,240	W <sub>a,d</sub>	9,517E+06	139,248	-	-	-	-
		W <sub>a,h</sub>	9,517E+06	-	-139,248		-	-
Stálé dlouhodobé	173,910	W <sub>a,eff,d</sub>	1,006E+07	17,294	-	27,8	-	-
		W <sub>a,eff,h</sub>	1,237E+07	-	-14,055		-	-
		W <sub>c,eff,d</sub>	1,214E+07	-	-		-0,515	-
		W <sub>c,eff,h</sub>	8,930E+06	-	-		-	-0,700
Krátkodobé užitné	354,72	W <sub>a,eff,d</sub>	1,084E+07	32,717	-	7,9	-	-
		W <sub>a,eff,h</sub>	2,002E+07	-	-17,721		-	-
		W <sub>c,eff,d</sub>	1,954E+07	-	-		-2,291	-
		W <sub>c,eff,h</sub>	1,342E+07	-	-		-	-3,336
Smrštění betonu	-	-	-	2,028	-	25,0	-	-
		-	-	-	-8,885		-	-
		-	-	-	-		1,322	-
		-	-	-	-		-	1,251
		Σσ <sub>i</sub> [MPa]		191,287	-179,909		-2,806	-4,037
		f <sub>yd</sub> [MPa]		225,00		f <sub>cd</sub> [MPa]	10,667	
				85,0%	80,0%		26,3%	37,8%

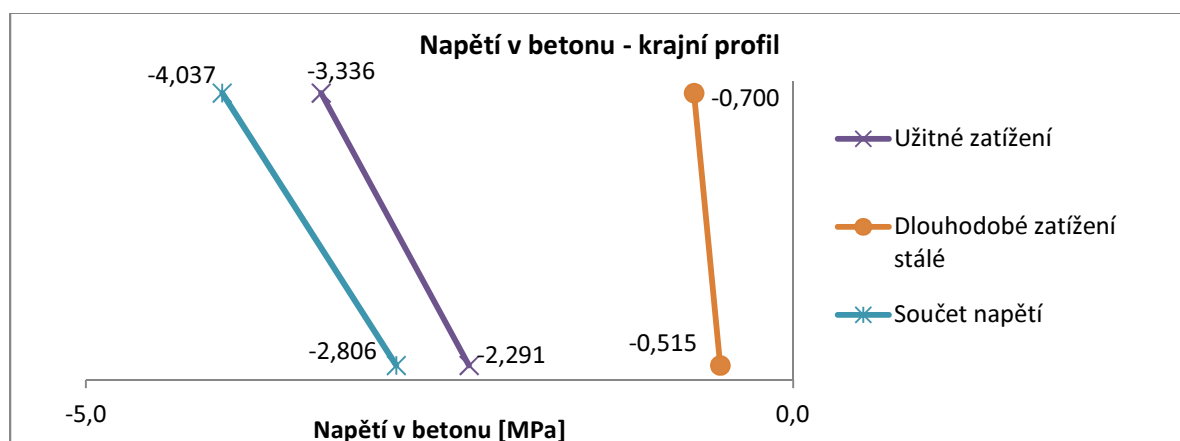
Tabulka 56 Shrnutí posudku napětí vznikajících ve vláknech průřezu

Pozn.: červeně vyznačená napětí se nezapočítávají do součtů napětí ve výše uvedené tabulce





Obr. 63 Napětí na ocelovém průřezu



Obr. 64 Napětí v betonové desce

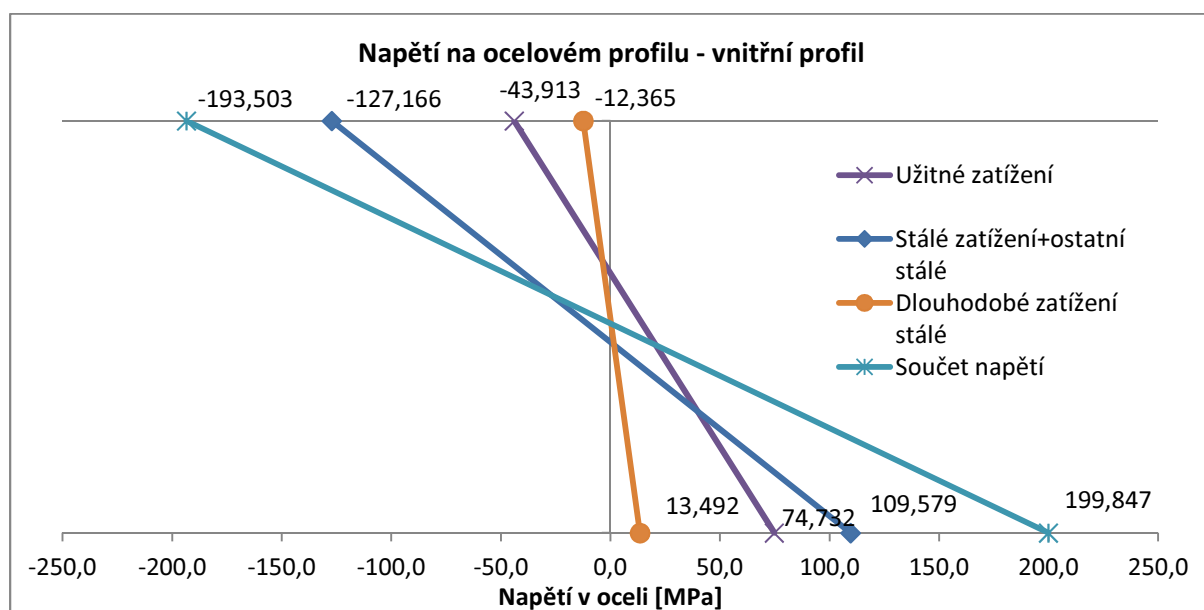
## 18.2.2 Zatížení dle 6.10b

### A) VNITŘNÍ NOSNÍK

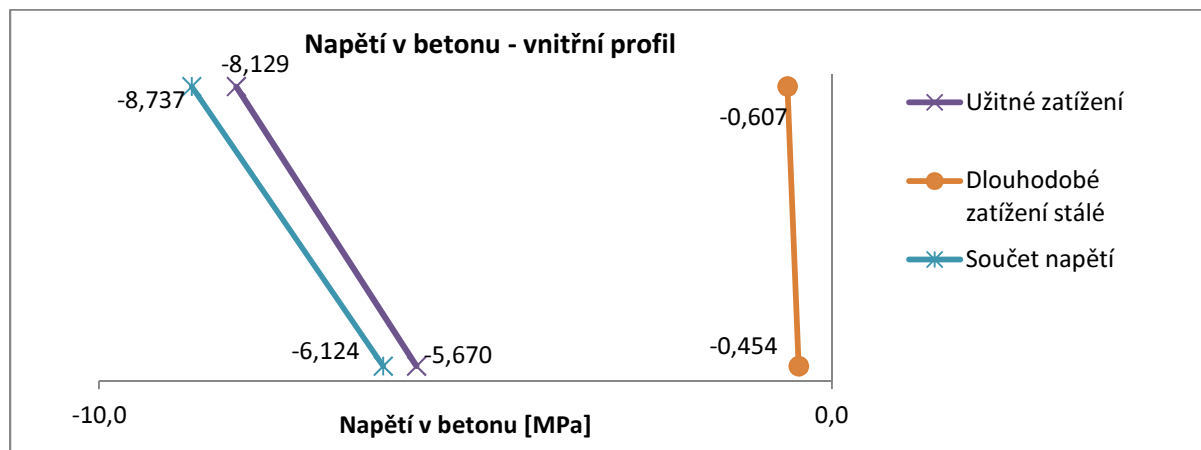
Zatížení	M [kNm]	W [mm <sup>3</sup> ]		σ <sub>a,d,i</sub>	σ <sub>a,h,i</sub>	n	σ <sub>c,d,i</sub>	σ <sub>c,h,i</sub>
Stálé zatížení	1223,400	W <sub>a,d</sub>	1,116E+07	109,579	-	-	-	-
		W <sub>a,h</sub>	9,620E+06	-	-127,166		-	-
Stálé dlouhodobé	160,610	W <sub>a,eff,d</sub>	1,190E+07	13,492	-	27,7	-	-
		W <sub>a,eff,h</sub>	1,299E+07	-	-12,365		-	-
		W <sub>c,eff,d</sub>	1,276E+07	-	-		-0,454	-
		W <sub>c,eff,h</sub>	9,540E+06	-	-		-	-0,607
Krátkodobé užité	964,54	W <sub>a,eff,d</sub>	1,291E+07	74,732	-	7,9	-	-
		W <sub>a,eff,h</sub>	2,196E+07	-	-43,913		-	-
		W <sub>c,eff,d</sub>	2,147E+07	-	-		-5,670	-
		W <sub>c,eff,h</sub>	1,497E+07	-	-		-	-8,129
Smrštění betonu	-	-	-	2,043	-	24,9	-	-
		-	-	-	-10,058		-	-
		-	-	-	-		1,279	-
		-	-	-	-		-	1,199
		Σσ <sub>i</sub> [MPa]		199,847	-193,503		-6,124	-8,737
		f <sub>yd</sub> [MPa]		225,00		f <sub>cd</sub> [MPa]	10,667	
				88,8%	86,0%		57,4%	81,9%

Tabulka 57 Shrnutí posudku napětí vznikajících ve vláknech průřezu

Pozn.: červeně vyznačená napětí se nezapočítávají do součtů napětí ve výše uvedené tabulce



Obr. 65 Napětí na ocelovém průřezu



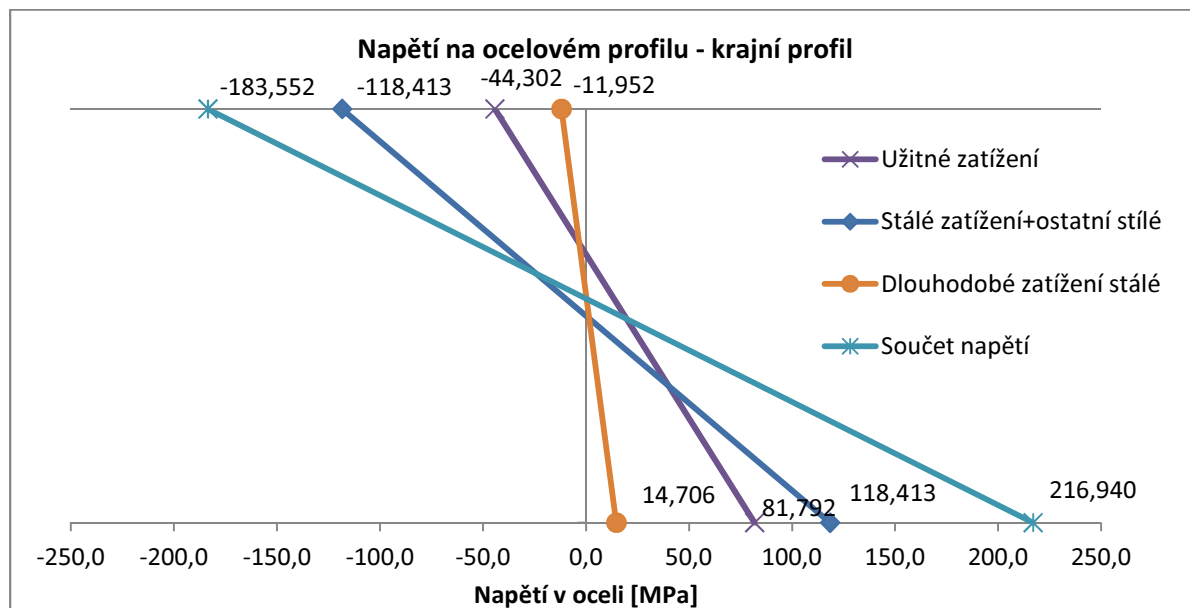
Obr. 66 Napětí v betonové desce

## B) KRAJNÍ NOSNÍK

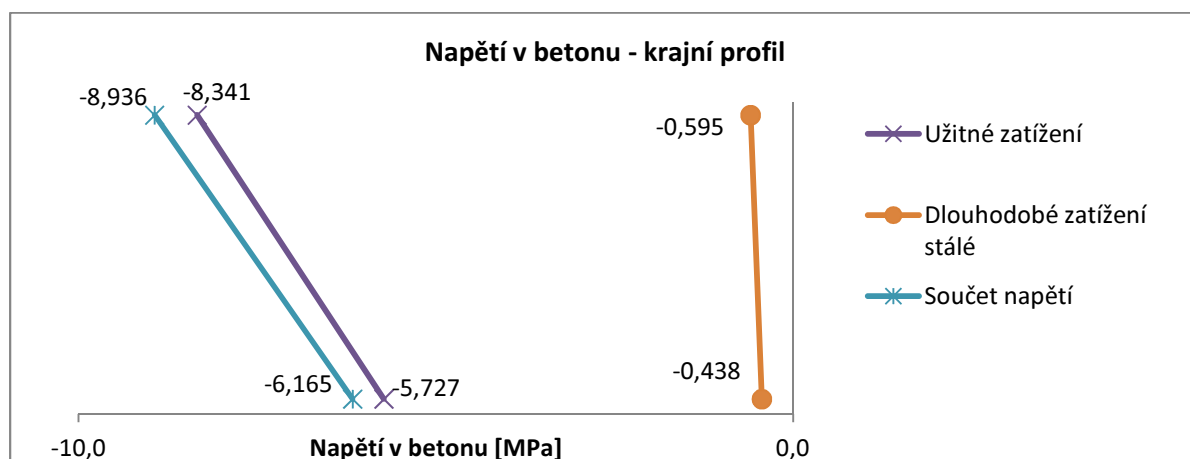
Zatížení	M [kNm]	W [mm <sup>3</sup> ]		σ <sub>a,d,i</sub>	σ <sub>a,h,i</sub>	n	σ <sub>c,d,i</sub>	σ <sub>c,h,i</sub>
Stálé zatížení	1126,950	W <sub>a,d</sub>	9,517E+06	118,413	-	-	-	-
		W <sub>a,h</sub>	9,517E+06	-	-118,413		-	-
Stálé dlouhodobé	147,890	W <sub>a,eff,d</sub>	1,006E+07	14,706	-	27,8	-	-
		W <sub>a,eff,h</sub>	1,237E+07	-	-11,952		-	-
		W <sub>c,eff,d</sub>	1,214E+07	-	-		-0,438	-
		W <sub>c,eff,h</sub>	8,930E+06	-	-		-	-0,595
Krátkodobé užité	886,79	W <sub>a,eff,d</sub>	1,084E+07	81,792	-	7,9	-	-
		W <sub>a,eff,h</sub>	2,002E+07	-	-44,302		-	-
		W <sub>c,eff,d</sub>	1,954E+07	-	-		-5,727	-
		W <sub>c,eff,h</sub>	1,342E+07	-	-		-	-8,341
Smrštění betonu	-	-	-	2,028	-	25,0	-	-
		-	-	-	-8,885		-	-
		-	-	-	-		1,322	-
		-	-	-	-		-	1,251
		Σσ <sub>i</sub> [MPa]		216,940	-183,552		-6,165	-8,936
		f <sub>yd</sub> [MPa]		225,00		f <sub>cd</sub> [MPa]	10,667	
				96,4%	81,6%		57,8%	83,8%

Tabulka 58 Shrnutí posudku napětí vznikajících ve vláknech průřezu

Pozn.: červeně vyznačená napětí se nezapočítávají do součtů napětí ve výše uvedené tabulce



Obr. 67 Napětí na ocelovém průřezu



Obr. 68 Napětí v betonové desce

## 18.3 Srovnání procentuálního využití v posuzovaných vláknech průřezu

### A) VNITŘNÍ PRŮŘEZ

Norma	ČSN	ČSN EN (6.10a)	ČSN EN (6.10b)
$\sigma_{c,eff,h}$	68,9%	37,2%	81,9%
$\sigma_{c,eff,d}$	48,4%	26,3%	57,4%
$\sigma_{a,eff,h}$	95,6%	84,7%	86,0%
$\sigma_{a,eff,d}$	97,3%	78,5%	88,8%

Tabulka 59 Srovnání využití vláken průřezu dle jednotlivých norem

### B) KRAJNÍ PRŮŘEZ

Norma	ČSN	ČSN EN (6.10a)	ČSN EN (6.10b)
$\sigma_{c,eff,h}$	70,4%	37,8%	83,8%
$\sigma_{c,eff,d}$	48,7%	26,3%	57,8%
$\sigma_{a,eff,h}$	90,6%	80,0%	81,6%
$\sigma_{a,eff,d}$	105,6%	85,0%	96,4%

Tabulka 60 Srovnání využití vláken průřezu dle jednotlivých norem

Lze vidět, že kritická vlákna se nacházejí na spodním okraji ocelového profilu.

## 19. MEZNÍ STAV POUŽITELNOSTI

Mezní stav použitelnosti bude posouzen z hlediska navrženého nadvýšení hlavních nosníků.

Nadvýšení bylo navrženo o velikosti 180 mm tak, aby vyrovnalo průhyb od zatížení, které přenáší pouze ocelové profily hlavních nosníků.

Kombinace zatížení pro stanovení hodnot průhybu lze najít v kapitolách 13, pro normu ČSN, a 14, pro normu ČSN EN, tohoto dokumentu. Hodnoty průhybů vypočtené pomocí programu Scia Engineer 2013.0 lze najít v PŘÍLOHÁCH 4 a 5.

NORMA	ČSN 1988 [mm]	ČSN [mm]	ČSN EN [mm]
KRAJNÍ NOSNÍK	157,0	166,3	166,3
VNITŘNÍ NOSNÍK	169,4		

Tabulka 61 Srovnání stanovených průhybů podle jednotlivých norem a modelů konstrukce

Z výpočtu z roku 1988 dostáváme hodnotu průhybu pro krajní a vnitřní nosník odlišnou, což je způsobeno odděleným řešením obou nosníků pro jejich danou zatěžovací šířku. Lze pozorovat, že pro průhyby stanovené vlastními výpočty platí, že krajní a vnitřní hlavní nosník se prohnut stejně, proto je uvedena pouze jedna hodnota pro průhyb hlavních nosníků. Toto je způsobeno zavedením spolupůsobení mezi hlavními nosníky pomocí vetknutého přípoje mezi příčníky a hlavními nosníky, který je fakticky proveden jako svařovaný na plný průvar a vzhledem k poměru výšek příčníku a hlavního nosníku je, podle autora této práce, užití takového spojení bližší realitě než neuvažování spolupůsobení mezi hlavními nosníky. Důležitý je také charakter zatížení, vlastní tíha konstrukce a ostatní stálé plošné rovnoměrné zatížení, které bylo použito pro stanovení průhybu.

Kontrolou také může být to, že průhyb z vlastních výpočtů se dostal do intervalu průhybů z výpočtu dle ČSN z roku 1988, podle kterého byla konstrukce navržena.

Navržené nadvýšení hlavních nosníků je dostačující pro vyrovnání účinků zatížení, které přenáší pouze ocelové profily hlavních nosníků, podle obou použitých norem, působících na modelu konstrukce se zahrnutím spolupůsobení mezi hlavními nosníky.

## 20. ZÁVĚR A VYHODNOCENÍ

### 1. Zatížení

Pro obě použité normy jsou aplikována zatížení stálá, nahodilá/stálá dlouhodobá a nahodilá krátkodobá/užitná.

Hodnoty těchto zatížení vycházejí v návrhových hodnotách vyšší pro ČSN EN. Zejména zatížení stálá a zatížení chodci jsou značně vyšší pro ČSN EN.

Druh zatížení	Popis zatížení			Normové/ Charakteristické hodnoty		Výpočtové/ Návrhové hodnoty	
				ČSN	ČSN EN	ČSN	ČSN EN
Stálá zatížení	Základní zatížení (přenášena ocelovými průřezy)	Stálé zatížení - vl. tíha konstrukce	q	q	1,1*q	1,35*q	
		Ostatní stálé zatížení [kN.m <sup>-2</sup> ]	4,57	4,57	5,03	6,17	
	Dlouhodobá zatížení (přenášena spřaženými průřezy)	Ostatní stálé zatížení [kN.m <sup>-2</sup> ]	1,03	1,03	1,52	1,39	
Nahodilá/ proměnná zatížení	Zatížení chodci [kN.m <sup>-2</sup> ]			4	5	6,61	7,5
	Mimořádný výskyt vozidla na lávce - svislé účinky	Kolové síly	F <sub>1</sub> /Q <sub>sv1</sub> [kN]	10	80	14,7	80
			F <sub>2</sub> /Q <sub>sv2</sub> [kN]	15	40	22,05	40
		Doplňkové plošné zatížení chodci	f <sub>i</sub> /q <sub>svi</sub> [kN.m <sup>-2</sup> ]	4	0	6,61	0
Klimatická zatížení	Zatížení větrem	Zatížená lávka [kN.m <sup>-2</sup> ]	1,10/0,55	0,87	1,43/0,72	1,31	
		Nezatížená lávka [kN.m <sup>-2</sup> ]	1,1	0,75	1,43	1,13	

Tabulka 62 Výpis hlavních zatížení použitých pro posouzení stávající konstrukce lávky

Vlastní tíha je modelována a generována automaticky v programu Scia Engineer 2013.0 a je shodná pro obě použité normy. Jediný rozdíl je tedy při výpočtu výpočtových/návrhových hodnot, tedy v použitých součinitelích.

Celkově vzato vycházejí vyšší hodnoty zatížení při použití normy ČSN EN, což by naznačovalo také nutně vyšší hodnoty vnitřních sil na konstrukci pro danou normu. Toto se však úplně nepotvrzuje a to z důvodu rozdílného přístupu k vytváření kombinací a možností práce s kombinacemi zatížení (viz dále).

Detailnější rozpis jednotlivých zatížení dle jednotlivých norem lze nalézt v kapitolách 8 a 9 tohoto dokumentu, včetně dalších zatížení nezavedených do posudku hlavních nosníků.

Detailní srovnání zatížení podle obou norem lze najít v kapitole 10 tohoto dokumentu.

## 2. Model konstrukce

Kvůli zvolenému modelu konstrukce, se zahrnutím spolupůsobení mezi hlavními nosníky, došlo k přitížení krajních hlavních nosníků a tím i k tomu, že je pro posouzení konstrukce rozhodujícím prvkem pro obě použité normy. Podle autora je tento přístup k modelu konstrukce, se zavedením spolupůsobení mezi hlavními nosníky způsobeným propojením hlavních nosníků příčníky pomocí svařovaných přípojí, blíže skutečnému působení konstrukce než oddělené posouzení krajních a vnitřních hlavních nosníků pro jejich danou zatěžovací šířku, jak bylo provedeno v původním statickém posudku z roku 1988.

## 3. Kombinace zatížení

Možnost použití kombinací 6.10a a 6.10b se ukázala jako hlavní příčina pro to, že posudky pro ČSN EN vyšly lépe, než posudky podle ČSN.

Předpis kombinace pro MSÚ dle ČSN:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \psi_c G_{k,j} + \sum \gamma_{Q,1} \psi_c Q_{k,dl} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_c Q_{k,kr}$$

$\psi \dots$	kombinační součinitel	- stálá a nahodilá dlouhodobá zatížení	$\psi = 1,0$
		- 1 nahodilá krátkodobá zatížení	$\psi = 1,0$
		- 2-3 nahodilá krátkodobá zatížení	$\psi = 0,9$
		- 4 a více nahodilých krátkodobých zatížení	$\psi = 0,8$

[ČSN 736203 dle 10.]

$G \dots$	stálé zatížení
$Q_{dl} \dots$	nahodilá zatížení dlouhodobá
$Q_{kr} \dots$	nahodilá zatížení krátkodobá

$\gamma_i \dots$	dílčí součinitel zatížení	pro jednotlivé druhy zatížení jsou součinitele popsány v Tab. 1 normy ČSN 73 6203
------------------	---------------------------	---

Pozn.: Předpis kombinace pro mezní stav únosnosti dle ČSN byl vytvořen pro zatížení použitá v tomto posudku a nelze jej uvažovat za obecný

Předpis kombinací pro MSÚ dle ČSN EN:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad [\text{dle 6.4.3.2 (6.10a)}]$$

$$\sum_{j \geq 1} \xi \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad [\text{dle 6.4.3.2 (6.10b)}]$$

$G \dots$	stálé zatížení		
$P \dots$	zatížení od předpětí		
$Q \dots$	proměnné zatížení		
$\gamma_i \dots$	dílčí součinitel zatížení	$\gamma_G = 1,35$	pro nepříznivá zatížení
		$\gamma_G = 1,00$	pro příznivá zatížení
		$\gamma_P = 1,00$	pro zatížení předpětím
		$\gamma_Q = 1,50$	pro proměnná zatížení

$\psi_{0,i}...$	kombinační součinitel	Typ zatížení	$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
		- Chodci	gr1	0,4	0,4
				0,0	0,0

[dle Přílohy A2.2.6, Tabulka A2.2]

$\xi...$  redukční součinitel pro nepříznivá stálá zatížení  $\xi = 0,85$  -

Předpis pro mimořádnou kombinaci zatížení dle ČSN EN:

- použita pro mimořádný výskyt vozidla na lávce

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + "P" + "A_d" + "(\psi_{1,1} \text{ nebo } \psi_{2,1})Q_{k,1}" + "\sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i} \quad [\text{dle 6.4.3.3 (6.11b)}]$$

$A_d...$  mimořádné zatížení

$\psi_{1,1}; \psi_{2,i} ...$  kombinační součinitele pro příslušnou návrhovou situaci dle příslušné normy ČSN EN 1991 až 1999

Z výše uvedených předpisů kombinací pro MSÚ dle jednotlivých norem lze vidět značný rozdíl v hodnotách kombinačních součinitelů podle jednotlivých norem, kde, pro normu ČSN, se jedná o snížení hodnoty o daleko menší část, než je tomu u normy ČSN EN.

Možnost použití redukčního součinitele  $\xi = 0,85$  je také příčinou toho, že i pro kombinaci podle výrazu 6.10b, kde se hlavní proměnné zatížení neredukuje součinitelem kombinace, nevycházejí hodnoty vnitřních sil o tolik větší, jak by se zprvu zdálo z hodnot samotných návrhových/výpočtových zatížení, při srovnání obou norem.

#### Kombinace pro MSP

Pro posuzované zatížení na mezní stav použitelnosti jsou použité charakteristické kombinace zatížení naprosto shodné a hodnoty kontrolovaných průhybů budou tak pro obě použité normy stejné. Více viz odrážka 5 tohoto vyhodnocení.



#### 4. Mezní stav únosnosti

Účinky zatížení a hodnoty napětí v krajních vláknech jednotlivých částí spřaženého průřezu vycházejí nejvyšší pro kombinaci dle ČSN EN 6.10b. Kromě jednoho případu, vnitřní nosník dle 6.10a, jsou kritickými vlákny spodní vlákna ocelového průřezu a horní vlákna betonové desky.

	ČSN [kNm]	ČSN EN [kNm]		
		6.10a	6.10b	
základní	1079,83	1325,24	1126,95	Stálé
dlouhodobý	189,48	173,91	147,89	Dlouhodobé
krátkodobý	781,32	354,72	886,79	Užitné
<b>Σ</b>	<b>2050,63</b>	<b>1853,87</b>	<b>2161,63</b>	<b>Σ</b>

Tabulka 63 Maximální hodnoty ohybových momentů pro jednotlivé normy a kombinace zatížení vnikající na krajním hlavním nosníku v průřezu L/2

Norma	Označení napětí podle jeho polohy na průřezu	Stálé zatížení	Nahodilé/ Stálé dlouhodobé zatížení	Krátkodobé nahodilé/ užitné zatížení	Smrštění betonu	Σ [Mpa]
ČSN	$\sigma_{c,h,i}$	0	-0,765	-7,361	1,327	-8,126
	$\sigma_{c,d,i}$	0	-0,563	-5,053	1,424	-5,616
	$\sigma_{a,h,i}$	-113,462	-15,299	-38,966	-9,495	-177,222
	$\sigma_{a,d,i}$	113,462	18,839	72,049	2,166	206,516
ČSN EN 6.10a	$\sigma_{c,h,i}$	0	-0,7	-3,336	1,251	-4,036
	$\sigma_{c,d,i}$	0	-0,515	-2,291	1,322	-2,806
	$\sigma_{a,h,i}$	-139,248	-14,055	-17,721	-8,885	-179,909
	$\sigma_{a,d,i}$	139,248	17,294	32,717	2,028	191,287
ČSN EN 6.10b	$\sigma_{c,h,i}$	0	-0,595	-8,341	1,251	-8,936
	$\sigma_{c,d,i}$	0	-0,438	-5,727	1,322	-6,165
	$\sigma_{a,h,i}$	-118,413	-11,952	-44,302	-8,885	-183,552
	$\sigma_{a,d,i}$	118,413	14,706	81,792	2,028	216,939

Tabulka 64 Hodnoty napětí pro jednotlivá krajní vlákna spřaženého průřezu krajního hlavního nosníku od maximálního ohybového momentu dle příslušné normy

Pozn.: červeně vyznačená napětí se nezapočítávají do součtů napětí ve výše uvedené tabulce

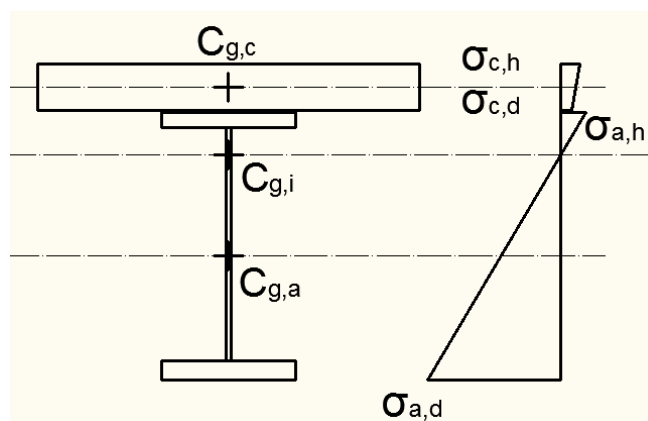
	ČSN [kNm]	ČSN EN [kNm]		
		6.10a	6.10b	
základní	1172,25	1438,67	1223,4	stálé
dlouhodobý	205,78	188,87	160,61	dlouhodobé
krátkodobý	849,82	385,82	964,54	užitné
$\Sigma$	2227,85	2013,36	<b>2348,55</b>	$\Sigma$

Tabulka 65 Maximální hodnoty ohybových momentů pro jednotlivé normy a kombinace zatížení vnikající na vnitřním hlavním nosníku v průřezu L/2

Norma	Označení napětí podle jeho polohy na průřezu	Stálé zatížení	Nahodilé/ Stálé dlouhodobé zatížení	Krátkodobé nahodilé/ užitné zatížení	Smrštění betonu	$\Sigma$ [Mpa]
ČSN	$\sigma_{c,h,i}$	0	-0,779	-7,174	1,259	-7,953
	$\sigma_{c,d,i}$	0	-0,582	-5,002	1,366	-5,584
	$\sigma_{a,h,i}$	-121,849	-15,839	-38,618	-10,646	-186,952
	$\sigma_{a,d,i}$	104,998	17,286	65,829	2,16	190,273
ČSN EN 6.10a	$\sigma_{c,h,i}$	0	-0,714	-3,252	1,251	-3,966
	$\sigma_{c,d,i}$	0	-0,534	-2,268	1,322	-2,802
	$\sigma_{a,h,i}$	-149,542	-14,541	-17,565	-8,885	-190,533
	$\sigma_{a,d,i}$	128,861	15,867	29,893	2,028	176,649
ČSN EN 6.10b	$\sigma_{c,h,i}$	0	-0,607	-8,129	1,199	-8,736
	$\sigma_{c,d,i}$	0	-0,454	-5,67	1,279	-6,124
	$\sigma_{a,h,i}$	-127,166	-12,365	-43,913	-10,058	-193,502
	$\sigma_{a,d,i}$	109,579	13,492	74,732	2,043	199,846

Tabulka 66 Hodnoty napětí pro jednotlivá krajní vlákna spřaženého průřezu vnitřního hlavního nosníku od maximálního ohybového momentu dle příslušné normy

Pozn.: červeně vyznačená napětí se nezapočítávají do součtů napětí ve výše uvedené tabulce



Obr. 69 Schéma umístění posuzovaných vláken spřaženého průřezu

Zdalo by se tedy, že posouzení podle ČSN EN bude ve výsledku méně příznivé než posouzení podle ČSN. Avšak rozdílný přístup obou norem k určení výpočtových/návrhových parametrů použitého materiálu má za následek to, že jednotkové posouzení vychází méně příznivě pro posouzení dle ČSN. Může za to snížení návrhové meze kluzu oceli součinitelem  $\gamma_M = 1,15$ . Dokonce tak dojde k překročení meze kluzu oceli pro krajní nosník v řešeném řezu L/2.

Norma	Označení napětí podle jeho polohy na průřezu	$\Sigma$ Napětí [Mpa]	Mezní hodnota napětí materiálu [Mpa]	%
ČSN	$\sigma_{c,h,i}$	<b>-8,126</b>	11,538	70,4%
	$\sigma_{c,d,i}$	-5,616		48,7%
	$\sigma_{a,h,i}$	-177,222	195,65	90,6%
	$\sigma_{a,d,i}$	<b>206,516</b>		<b>105,6%</b>
ČSN EN 6.10a	$\sigma_{c,h,i}$	<b>-4,036</b>	10,667	37,8%
	$\sigma_{c,d,i}$	-2,806		26,3%
	$\sigma_{a,h,i}$	-179,909	225	80,0%
	$\sigma_{a,d,i}$	<b>191,287</b>		85,0%
ČSN EN 6.10b	$\sigma_{c,h,i}$	<b>-8,936</b>	10,667	83,8%
	$\sigma_{c,d,i}$	-6,165		57,8%
	$\sigma_{a,h,i}$	-183,552	225	81,6%
	$\sigma_{a,d,i}$	<b>216,939</b>		96,4%

Tabulka 67 Hodnoty procentuálního využití materiálu v řešených vláknech pro krajní hlavní nosník

Norma	Označení napětí podle jeho polohy na průřezu	$\Sigma$ Napětí [Mpa]	Mezní hodnota napětí materiálu [Mpa]	%
ČSN	$\sigma_{c,h,i}$	<b>-7,953</b>	11,538	68,9%
	$\sigma_{c,d,i}$	-5,584		48,4%
	$\sigma_{a,h,i}$	-186,952	195,65	95,6%
	$\sigma_{a,d,i}$	<b>190,273</b>		<b>97,3%</b>
ČSN EN 6.10a	$\sigma_{c,h,i}$	<b>-3,966</b>	10,667	37,2%
	$\sigma_{c,d,i}$	-2,802		26,3%
	$\sigma_{a,h,i}$	<b>-190,533</b>	225	84,7%
	$\sigma_{a,d,i}$	176,649		78,5%
ČSN EN 6.10b	$\sigma_{c,h,i}$	<b>-8,736</b>	10,667	81,9%
	$\sigma_{c,d,i}$	-6,124		57,4%
	$\sigma_{a,h,i}$	-193,502	225	86,0%
	$\sigma_{a,d,i}$	<b>199,846</b>		88,8%

Tabulka 68 Hodnoty procentuálního využití materiálu v řešených vláknech pro vnitřní hlavní nosník

Konečné jednotkové posudky poukazují na fakt, že i přes vyšší hodnoty napětí na průřezu dochází k získání lepších hodnot jednotkových posudků při použití postupu z normy ČSN EN.

K tomuto zejména přispívá:

- možnost užití kombinací zatížení podle výrazů 6.10a a 6.10b, s tím spojené snížení hodnot zatížení od proměnných zatížení (dav lidí, 6.10a) pomocí kombinačního součinitele  $\gamma_Q = 0,4$ , a nebo také snížení o redukční součinitel  $\xi = 0,85$
- přístup k určování výpočtových /návrhových hodnot vlastností oceli ( $\gamma_M = 1,0$  pro ČSN EN a 1,15 pro ČSN)

Pro mezní stav únosnosti nevyhoví pouze spodní vlákna ocelového průřezu krajního nosníku při posouzení podle ČSN. Nutno však poznamenat, že průřezy obou hlavních nosníků mají další rezervy v únosnosti a toto lze vidět ve výpočtu momentové únosnosti průřezů podle teorie plasticity, podle které by veškeré zatížení byl schopný přenést pouze samotný ocelový průřez.

Hodnoty momentové únosnosti dle teorie plasticity:

Hlavní nosník	Ocelový průřez	Spřažený průřez
	$M_{pl,a,Rd}$ [kNm]	$M_{pl,Rd}$ [kNm]
KRAJNÍ	2381,715	2507,058
VNITŘNÍ	2566,935	2743,507

Tabulka 69 Hodnoty plastického momentu únosnosti pro jednotlivé průřezy

Výpočet hodnot průřezových charakteristik podle teorie plasticity viz kapitola 6 a PŘÍLOHA 3 tohoto dokumentu.

## 5. Mezní stav použitelnosti

Navržené převýšení hlavních nosníků je dostačující pro vyrovnání účinků zatížení, které přenáší pouze ocelové profily hlavních nosníků a to pro obě posuzované normy.

NORMA	ČSN 1988 [mm]	ČSN [mm]	ČSN EN [mm]
KRAJNÍ NOSNÍK	157,0	166,3	166,3
VNITŘNÍ NOSNÍK	169,4		

Tabulka 70 Hodnoty mezních průhybů pro hlavní nosníky

Při výpočtu podle upraveného modelu konstrukce, zavedením spolupůsobení hlavních nosníků, dochází ke shodnému průhybu krajního a vnitřního hlavního nosníku, z tohoto důvodu je uváděna pouze jedna hodnota průhybu pro oba nosníky. Také lze vidět shodný průhyb pro posudek podle ČSN a ČSN EN. To je způsobeno stejnou velikostí zatížení v charakteristických/normových hodnotách pro zatížení, které je přenášeno pouze ocelovými průřezy hlavních nosníků.

Detailnější popis MSP najdete v kapitole 19 tohoto dokumentu.

## 6. Závěr

Srovnání přístupu jednotlivých norem, a to jak k zatížení a materiálům, tak ke kombinacím zatížení a použití kombinačních součinitelů a součinitelů materiálu bylo velice zajímavé. Také výsledky posouzení byly pro autora částečně překvapením, kdy očekával jasné přetížení konstrukce při posouzení konstrukce podle ČSN EN, zvláště pak po stanovení hodnot zatížení. Konstrukce lávky sice podle ČSN nevyhoví, při použití upraveného modelu konstrukce se zavedením spolupůsobení hlavních nosníků, v případě krajního hlavního nosníku podle teorie elasticity, avšak teorie plasticity poskytuje dostatečnou rezervu, aby bylo možno považovat konstrukci za dostatečně bezpečnou. Podle platného souboru norem ČSN EN by konstrukce, tak jak byla navržena v roce 1988 vyhověla pro uvažované zatížení a jeho kombinace jak pro mezní stav únosnosti, tak pro mezní stav použitelnosti.

## 21. POUŽITÁ LITERATURA

### Normy ČSN EN:

ČSN EN 1990:	Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí
ČSN EN 1991-1-1:	Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb
ČSN EN 1991-1-3:	Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-3: Obecná zatížení – Zatížení sněhem
ČSN EN 1991-1-4:	Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem
ČSN EN 1991-1-5:	Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-5: Obecná zatížení – Zatížení teplotou
ČSN EN 1991-2:	Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 2: Zatížení mostů dopravou
ČSN EN 1992-1-1:	Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní konstrukce
ČSN EN 1993-1-1:	Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby
ČSN EN 1993-2:	Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 2: Ocelové mosty
ČSN EN 1994-1-1:	Eurokód 4: Navrhování spřažených ocelobetonových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby
ČSN EN 1994-2:	Eurokód 4: Navrhování spřažených ocelobetonových konstrukcí – Část 2: Obecná pravidla a pravidla pro mosty

### Normy ČSN:

ČSN 73 2089	Směrnice pro navrhování spřažených ocelobetonových nosníků
ČSN 73 6203	Zatížení mostů
ČSN 73 6205	Navrhování ocelových mostů
ČSN 730035	Zatížení stavebních konstrukcí
ČSN 731401	Navrhování ocelových konstrukcí

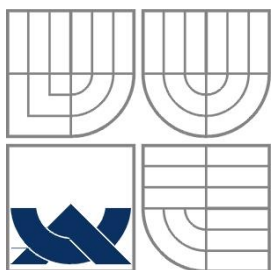
<b>Normy hutních výrobků:</b>	ČSN 41 1343
	ČSN 41 1375
	ČSN 41 1378
	ČSN 41 1449
	ČSN 41 1484
	ČSN 41 1503

### Publikace a knihy:

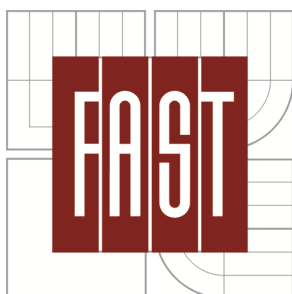
BUSTIN, Ing. Ján a Ing. Jozef ŠUBR. *Spřažené ocelobetonové konstrukce*. 1964. vyd. Ing. Václav Krůta. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1964, 176 s. 1. D-010\*40031.

### Internetové odkazy:

<http://csnonline.unmz.cz>



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ  
ÚSTAV KOVOVÝCH A DŘEVNÝCH  
KONSTRUKCÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING  
INSTITUTE OF METAL AND TIMBER STRUCTURES

## OCELOVÁ LÁVKA PRO PĚŠÍ STEEL FOOTBRIDGE

ČÁST II.A: VOLBA VARIANTY ŘEŠENÍ  
PART II.A: OPTION SELECTION

DIPLOMOVÁ PRÁCE  
DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

Bc. RADEK BARTO

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

doc. Ing. MIROSLAV BAJER, CSc.

BRNO 2015

## Obsah

1. ÚVOD .....	2
2. GEOMETRIE POSUZOVANÝCH ŘEŠENÍ.....	3
2.1 Příčný řez lávky .....	3
2.2 Podélné profily řešených variant.....	4
3. MATERIÁLY .....	6
4. ZATÍŽENÍ A KOMBINACE ZATÍŽENÍ.....	7
5. MODEL KONSTRUKCE A ZATÍŽENÍ .....	8
5.1 Model konstrukce.....	8
5.2 Model zatížení .....	12
6. POROVNÁNÍ VARIANT ŘEŠENÍ.....	13
6.1 Kritéria posuzování jednotlivých variant .....	13
6.2 Údaje pro posouzení variant řešení .....	14
6.2.1 Hmotnost konstrukce .....	14
6.2.2 Průhyb hlavních nosníků .....	15
6.2.3 Estetika .....	15
6.2.4 Množství momentových přípojů .....	15
6.2.5 Rezerva v únosnosti jednotlivých prvků konstrukce .....	16
6.3 Vyhodnocení a volba varianty řešení .....	16

## SEZNAM PŘÍLOH:

PŘÍLOHA 1	VÝPOČET VZPĚRNÝCH DÉLEK HORNÍHO PASU HLAVNÍHO NOSNÍKU PRO JEDNOTLIVÉ VARIANTY ŘEŠENÍ
PŘÍLOHA 2	SCHÉMATA NAVRŽENÝCH PROFILŮ A VÝPOČET HMOTNOSTÍ PRO JEDNOTLIVÉ VARIANTY ŘEŠENÍ



## 1. ÚVOD

Motivem této části diplomové práce je najít a vybrat co nejvhodnější tvar a geometrii konstrukčního řešení lávky pro pěší a cyklistickou dopravu v Rožnově pod Radhoštěm, která by byla schopna nahradit stávající lávku sloužící pouze pro pěší dopravu (cyklistická doprava zakázaná značkou).

Současné řešení lávky pro pěší neumožňuje, jak už bylo napsáno výše, společný pohyb chodců a cyklistů, a to navzdory tomu, že se lávka nachází v těsné blízkosti hojně užívané cyklo trasy vedoucí z Valašského Meziříčí, přes Rožnov pod Radhoštěm na Dolní Bečvu a dále.

Podkladem pro volbu nejvhodnějšího řešení byly:

1. Zvolené konstrukční řešení – dva hlavní vierendeelové nosníky, spojené příčníky a na ně položená mostovka
2. Charakter překonávané překážky, řeky Bečvy, popsany v ČÁSTI I této diplomové práce
3. Příčný řez lávky navržený podle TP179 (viz dále.)
4. Rozpětí lávky dle stávajícího řešení lávky pro pěší  $L = 33,6$  m
5. Výška hladiny stoleté vody, podle aktuálních údajů povodí Moravy,  $H_{100} = 376.91$  m. n. m.
6. Platné normy ČSN EN
7. Sortiment uzavřených průřezů RHS a SHS dostupný v Programu Scia Engineer 2013.0

Hlavním účelem této části je odhad a odladění profilů, výšky a rozmístění svislic hlavních nosníků systému Vierendeel. Tyto nosníky tvoří hlavní část nosné ocelové konstrukce, a proto se vyplatí věnovat jejich návrhu vyšší pozornost. Podrobný popis posuzovaných variant v kapitole 2.

Vierendeelův nosník je pojmenován podle belgického inženýra Arthura Vierendeela. Jedná se o vnitřně staticky neurčitou konstrukci složenou z uzavřených rámců. V našem případě jsou nosníky prostě podepřeny, tedy vně staticky určité. Jednotlivé pruty jsou mezi sebou propojeny styčníky přenášejícími ohybový moment a v závislosti na tom jsou jednotlivé pruty namáhané kombinací normálové síly, ohybového momentu a posouvající síly.

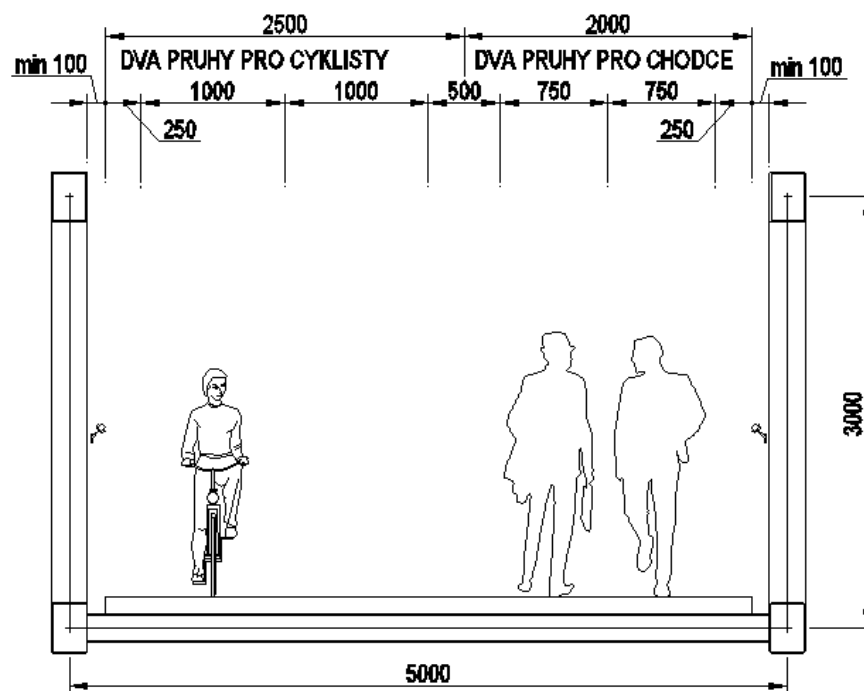
Pro volbu nejvhodnější varianty a pro odhad rozměrů profilů jednotlivých částí je použit zjednodušený model zatížení popsany v kapitole 4.

## 2. GEOMETRIE POSUZOVANÝCH ŘEŠENÍ

### 2.1 Příčný řez lávky

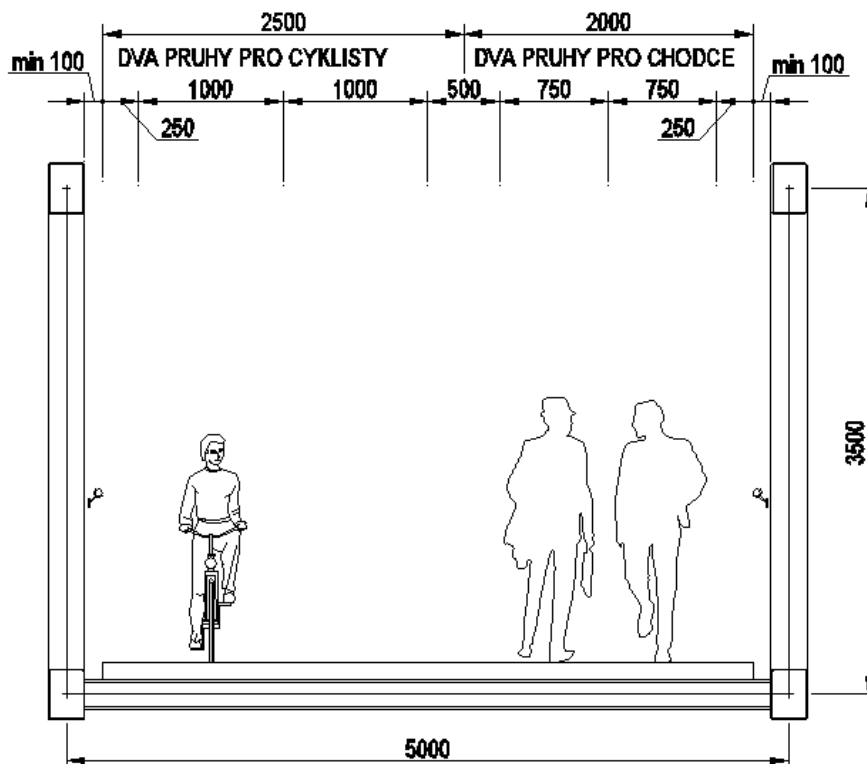
Podle TP179 byl navržen příčný řez lávky pro společné převedení pěší a cyklo dopravy. Toto řešení lze vidět na Obr. 1 - 3 aplikované na jednotlivé varianty řešení hlavního nosníku (viz. níže).

A)

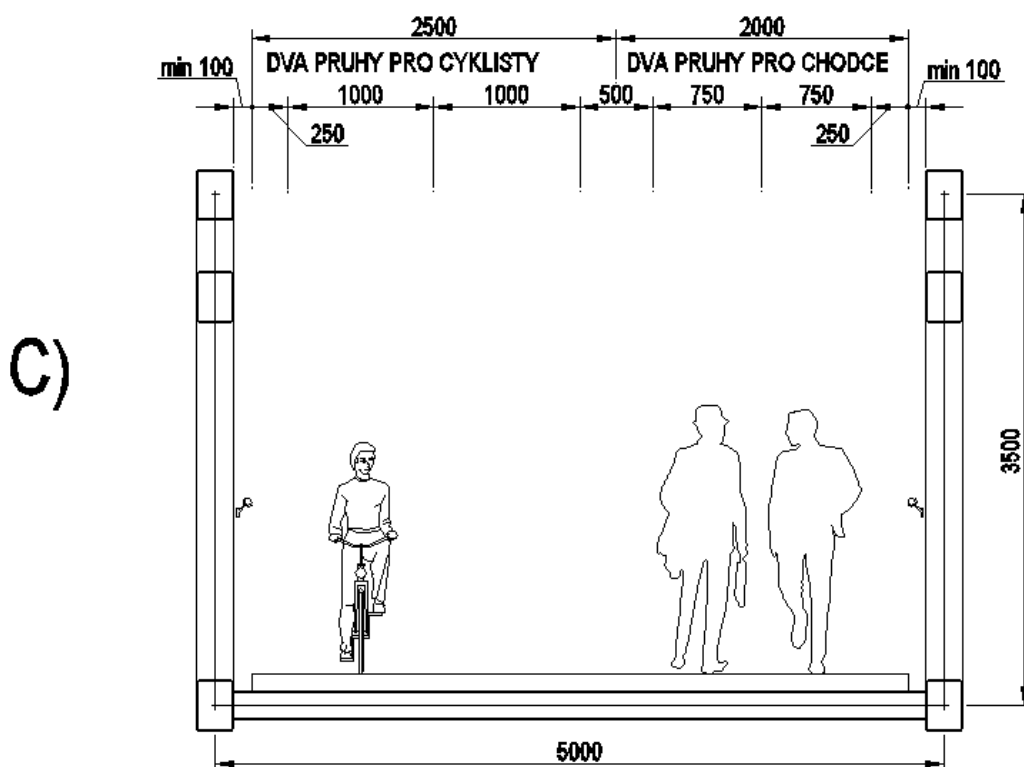


Obr. 1 Příčný řez pro varianty 12A, 14A a 15A hlavních nosníků

B)



Obr. 2 Příčný řez pro varianty 12B, 14B, 15B hlavních nosníků

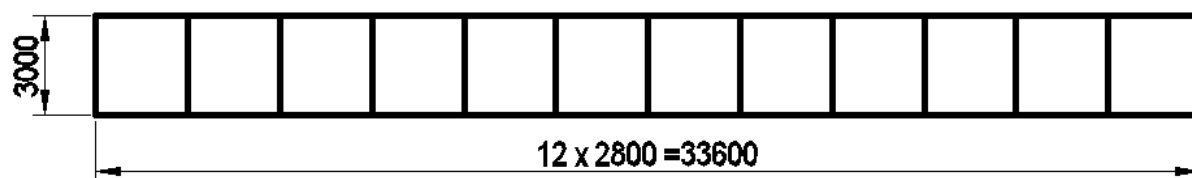


Obr. 3 Příčný řez pro varianty 12C, 14C a 15C hlavních nosníků

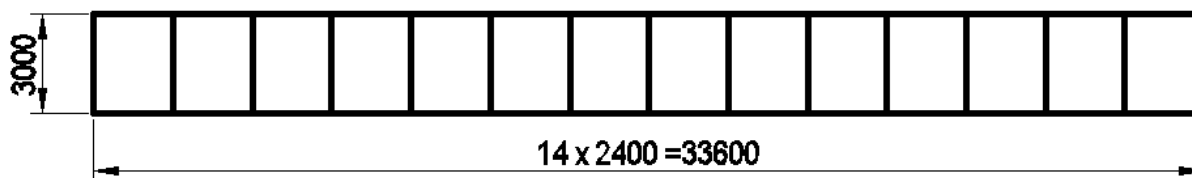
## 2.2 Podélné profily řešení variant

Posuzovány jsou 3 varianty podélného profilu hlavního vierendeelova nosníku, které se liší výškou mezi spodním a horním pasem a tvarem horního pasu:

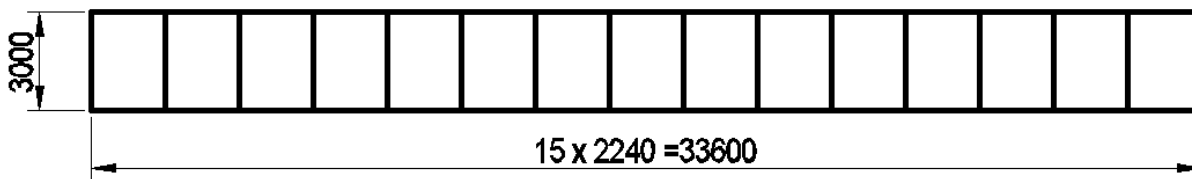
A) Vodorovný horní i dolní pás, osová vzdálenost 3,0 m (varianta 12A, 14A, 15A)



Obr. 4 Varianta 12A

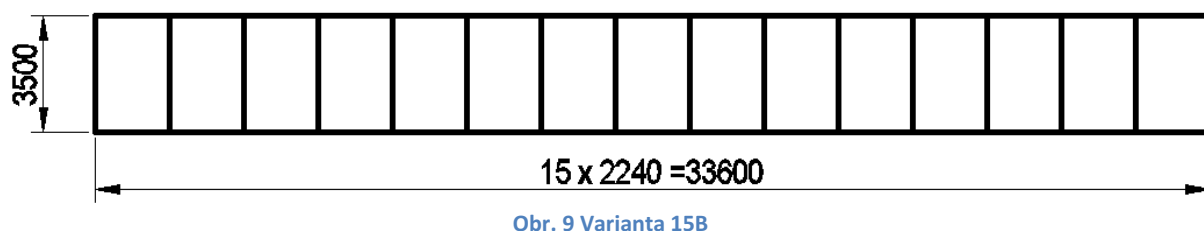
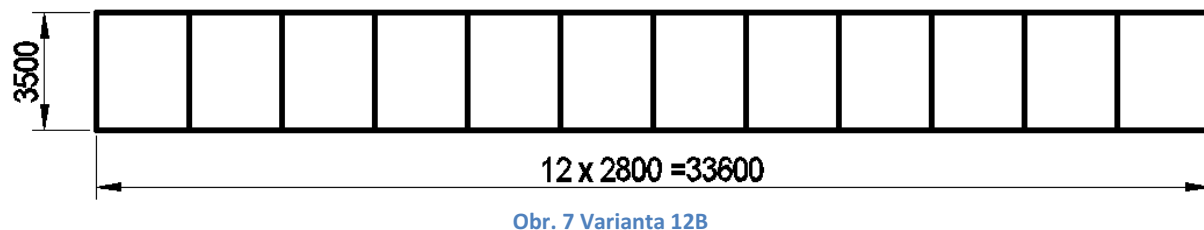


Obr. 5 Varianta 14A

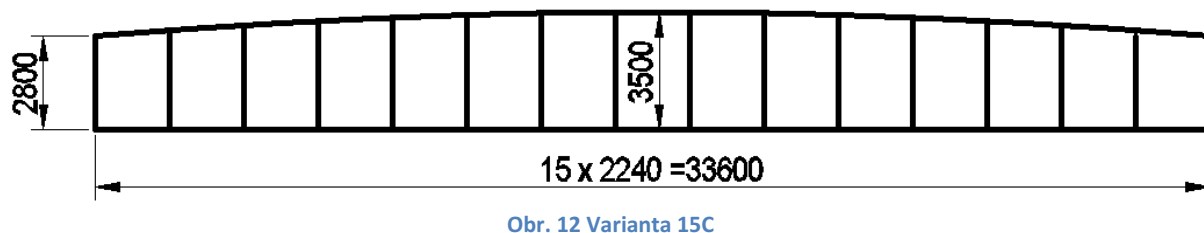
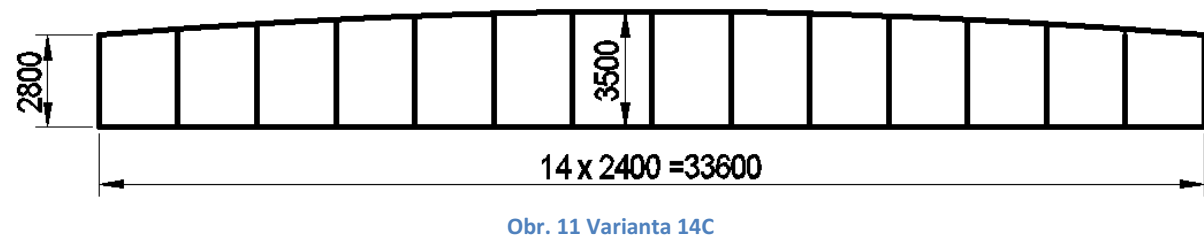
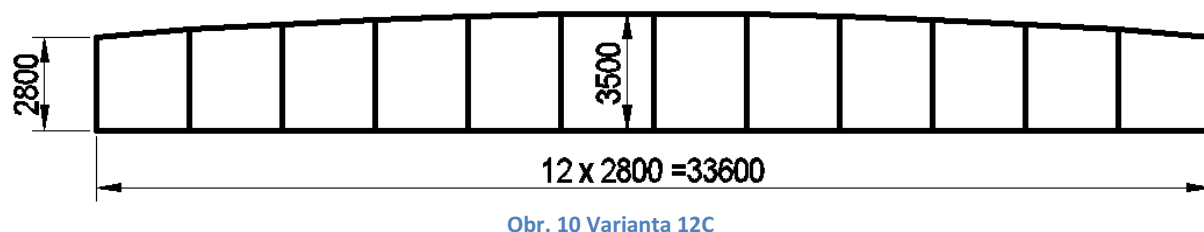


Obr. 6 Varianta 15A

B) Vodorovný horní i dolní pás, osová vzdálenost 3,5 m (varianty 12B, 14B, 15B)



C) Vodorovný dolní pás a horní pás ve tvaru polygonu (polygon aproximující tvar paraboly druhého stupně  $L = 33,6$  m, vzepětí  $f = 0,7$  m;  $h_{\min} = 2,8$  m;  $h_{\max} = 3,5$  m)



Zvolené výšky byly navrženy s ohledem na bezproblémový výhled chodců z lávky do okolí, omezovaly pouze profilem svislic, kterým se dá však snadno vyhnout.

Profily hlavních nosníků budou navrženy jako svařované obdélníkové/čtvercové uzavřené průřezy, avšak pro urychlení optimalizace průřezů jednotlivých variant bude použit sortiment za tepla válcovaných uzavřených profilů obdélníkového nebo čtvercového tvaru dostupný v programu Scia Engineer 2013.0, a to proto, že při zadání svařovaného průřezu zvolené geometrie v daném programu dochází k tomu, že Scia Engineer 2013.0 u těchto navržených profilů nedokáže zatřídit do tříd průřezu a tak automaticky předpokládá průřez třídy 3 a nevyužívá tak plastických vlastností průřezů vyšších tříd 1 a 2. Toto vede ke značnému nárůstu rozměrů průřezů.

Pro urychlení optimalizace průřezů jednotlivých variant jsou tedy v této části diplomové práce použity výše popsání průřezy s označením RHS (Rectangular Hotrolled Section) a SHS (Square Hotrolled Section). Pro vybranou variantu řešení bude poté navržen a posouzen svařovaný průřez, a to pomocí ručního výpočtu.

### 3. MATERIÁLY

Jako materiál pro hlavní nosníky, příčníky a ztužidla byla navržena ocel S275

$f_y =$	275	MPa
$f_u =$	430	MPa
$E =$	210	GPa
$G =$	81	GPa

Materiál dalších částí konstrukce, zejména pak betonové mostovky je v této fázi volby geometrie opomenut, jelikož mostovka není předmětem posudku a její skladba je pouze odhadnuta a použity objemové tíhy dle ČSN EN 1990, Příloha A. Mostovka bude navržena a posouzena pouze pro zvolenou variantu řešení.

## 4. ZATÍŽENÍ A KOMBINACE ZATÍŽENÍ

Pro návrh nejhodnější geometrie bude použit zjednodušený model zatížení:

- 1) Stálé zatížení generováno, dle zvolených profilů, programem Scia Engineer 2013.0; modelovány jsou hlavní nosníky, příčníky a ztužidla
- 2) Ostatní stálé zatížení pochozí vrstva (parkdeck 15 mm), betonová deska 160 mm, trapézový plech

Vrstva	Rozměr [mm]	Objemová tíha [kN/m <sup>3</sup> ]	Plošná tíha [kN/m <sup>2</sup> ]
Parkdeck	15	25,0	0,375
Betonová deska	160	25,0	4,0
Trapez. plech	-	-	0,185
Σ			<b>4,56</b>

Tabulka 1 Ostatní stálé zatížení

Ostatní stálé zatížení je pouze odhadnuto. Posudek konstrukce mostovky bude proveden ve statickém výpočtu pro vybranou variantu řešení lávky.

- 3) Proměnné zatížení – dav lidí zatížení, které bylo rozhodující pro posouzení v části I

Zatížení	Plošná tíha [kN/m <sup>2</sup> ]
Dav lidí	5,0

Tabulka 2 Proměnné zatížení - dav lidí

Zatížení 2 a 3 jsou v programu Scia Engineer 2013.0 modelována pomocí generátoru plošného zatížení jako plošné zatížení podle jeho polohy a možného výskytu dle příčného řezu lávky, viz. kapitola 5.

V modelech jednotlivých variant řešení je zatížení rozděleno do zatěžovacích stavů:

Zatěžovací stav	Popis
ZS1	Vlastní tíha modelu
ZS2	Ostatní stálé zatížení
ZS3	Proměnné zatížení – dav lidí

Tabulka 3 Zatěžovací stavy v modelech jednotlivých variant

Tyto zatěžovací stavy jsou kombinovány v kombinacích podle výrazu (6.10), ČSN EN 1990:

Ozn. kombinace	Mezní stav	Popis
CO1	MSÚ	$(ZS1+ZS2)*1,35 + ZS3*1,5$
CO3	MSP	$ZS1*1,0 + ZS2*1,0$
CO4	MSP	$ZS1*1,0 + ZS2*1,0 + ZS3*1,0$

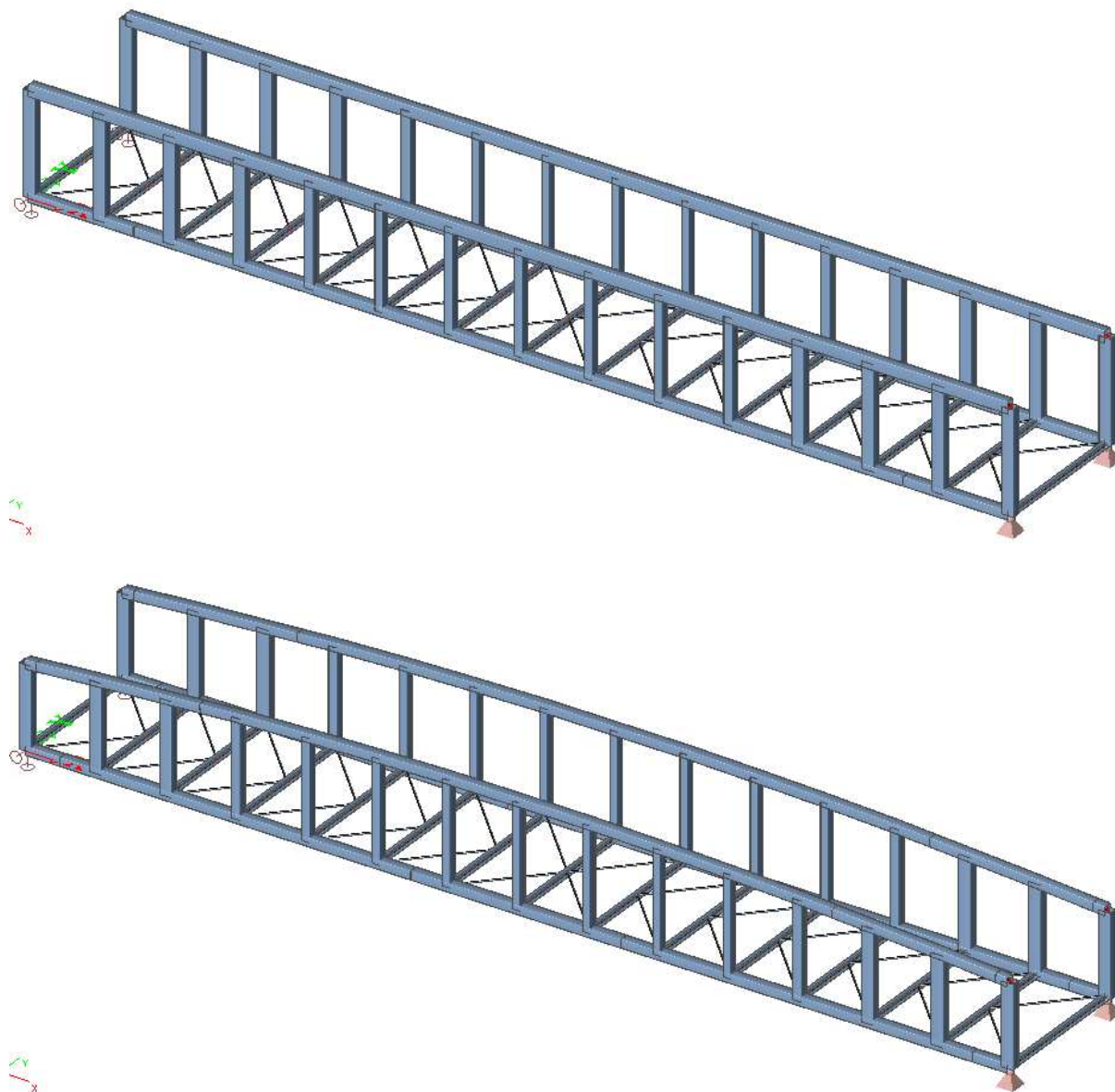
Tabulka 4 Kombinace zatěžovacích stavů pro modely variant řešení

$\gamma_i$ ... dílčí součinitel zatížení  $\gamma_G = 1,35$  pro nepříznivá zatížení  
 $\gamma_Q = 1,50$  pro proměnná zatížení

Pozn.: Autor si uvědomuje, že v předpisu kombinací pro mezní stav únosnosti dle ČSN EN 1990, Příloha A2, Tabulka a2.4(B) je pro zatížení chodce, respektive gr1, působící nepříznivě je dán součinitel zatížení  $\gamma_Q = 1,35$ , avšak při zanedbání ostatních proměnných zatížení zvolil autor hodnotu součinitele pro výběr varianty  $\gamma_Q = 1,50$ .

## 5. MODELÝ KONSTRUKCE A ZATÍŽENÍ

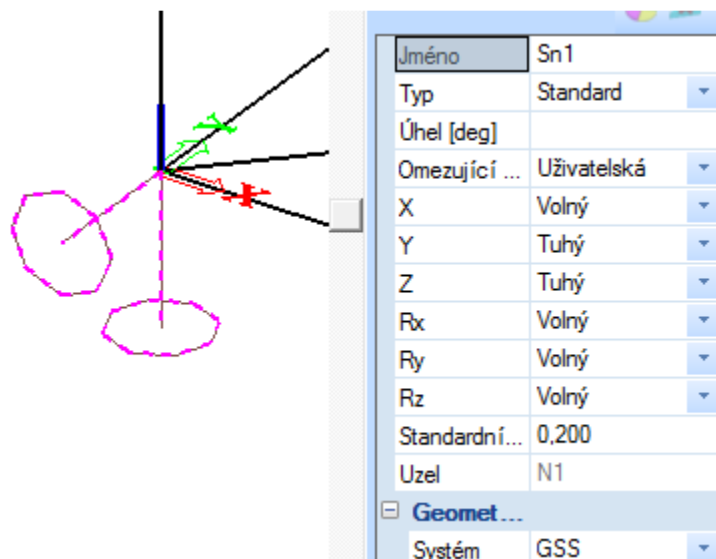
### 5.1 Model konstrukce



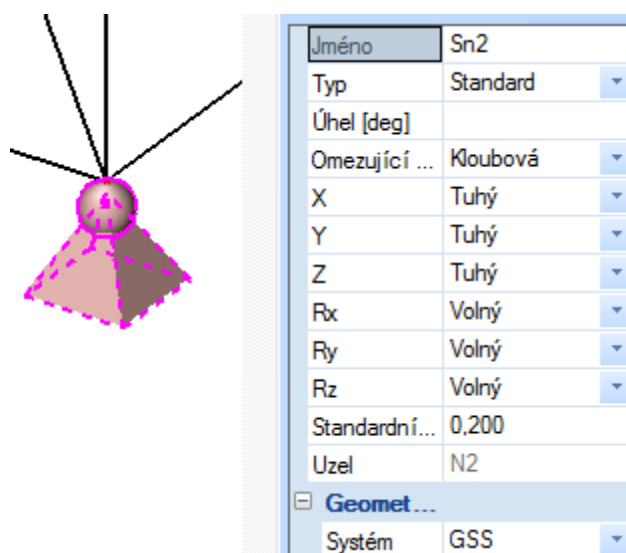
Obr. 13 Modely variant v programu Scia Engineer 2013.0

Jednotlivé varianty jsou modelovány v programu Scia Engineer 2013.0. Jsou namodelovány dva identické hlavní nosníky v osové vzdálenosti 5,0 m. Tyto nosníky se skládají z horního a dolního pasu, modelovány pomocí prutových prvků proměnného průřezu (mění se tloušťka stěny uzavřeného profilu). Tyto pasy jsou propojeny svislicemi pomocí rámových přípojů působících v obou hlavních rovinách spojení.

Oba hlavní nosníky jsou uloženy jako prosté nosníky, viz níže:



Obr. 14 Model posuvné kloubové podpory

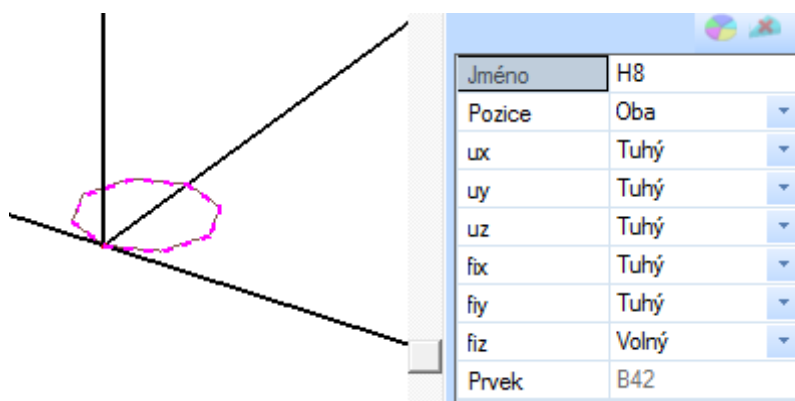


Obr. 15 Model kloubové podpory (neposuvné)

Ložiska budou řešena pouze pro zvolenou variantu řešení lávky v další části této diplomové práce.

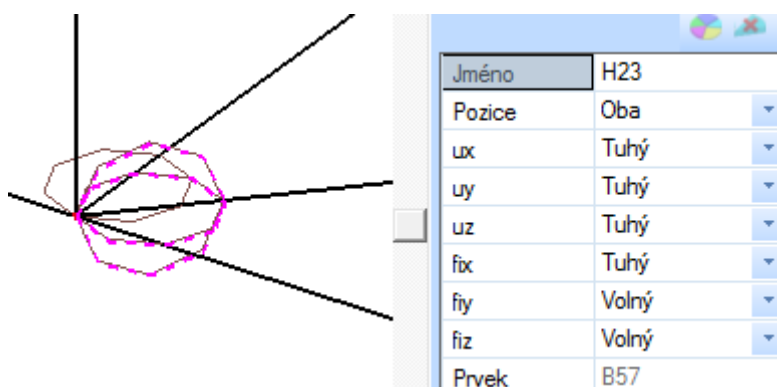


Hlavní nosníky jsou v místě každé svislice propojeny příčníky pomocí rámového přípoje pro tuhou osu příčníku a kloubem pro měkkou osu příčníku.

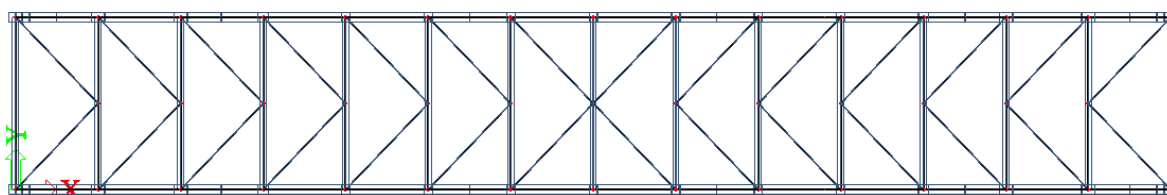


Obr. 16 Model přípoje příčníku na svislici

Vodorovné ztužení lávky je namodelováno z trubek kruhového průřezu, tento průřez je pouze odhadnut a bude posouzen pro vybranou variantu řešení. Ztužidlo je připojeno do uzlu ve styku svislice, příčníku a dolního pasu a na druhé straně na střed příčníku, kloubově ve svislém i vodorovném směru. Detail připojení ztužidla bude řešen pro vybranou variantu lávky.



Obr. 17 Modelování přípoje vodorovného ztužidla



Obr. 18 Příklad rozmístění vodorovného ztužení lávky

Pro svislice a horní pás hlavního nosníku jsou ručně zadány vzpěrné délky a tyto jsou nastaveny v datech prutu o vzpěru. Pro svislice do obou směrů a horní pás pro v rovině hlavního nosníku jsou vzpěrné délky určeny ze statického řešení hlavního nosníku. Pro horní pás a vzpěr kolmo k rovině hlavního nosníku je nutno vzpěrnou délku vypočítat pomocí tuhosti polorámu, viz níže.

Obecný výpočet vzpěrné délky dle ČSN EN 1993-2 (veškeré odkazy na odstavce, kapitoly a výrazy () výpočtu uvedeného níže se vztahují k dané normě):

- Příčná tuhost  $C$  [N/mm] dle přílohy D, Tabulka D.3

$$C = \frac{EI_v}{\frac{h_v^3}{3} + \frac{h^2 b_q I_v}{2I_q}}$$

$E$  ... modul pružnosti materiálu, Youngův modul

$h_v$  ... výška svislice od bodu ohybu polorámu

$I_v$  ... moment setrvačnosti průřez svislice v rovině polorámu

$b_q$  ... vodorovná vzdálenost mezi body ohybu

$I_q$  ... moment setrvačnosti průřezu příčnicku v rovině polorámu

$EI_v$  ... ohybová tuhost svislice v rovině polorámu

- Příčná tuhost  $c$  [N/mm<sup>2</sup>] dle (6.13)

$$c = C/a$$

$a$  ... vzdálenost svislic (vzdálenost mezi pružinami)

- Kritická osová síla  $N_{cr}$  [N] dle (6.12)

$$N_{cr} = m N_E$$

$$m = \frac{2}{\pi^2} \sqrt{\gamma}$$

$$\gamma = \frac{cL^4}{EI}$$

$L$  ... vzdálenost pevných podpor

$EI$  ... ohybová tuhost průřezu horního pasu kolmo k rovině hlavního nosníku

$$N_E = \pi^2 \frac{EI}{L^2}$$

- Vzpěrná délka horního pasu z roviny hlavního nosníku  $l_k$  [mm]

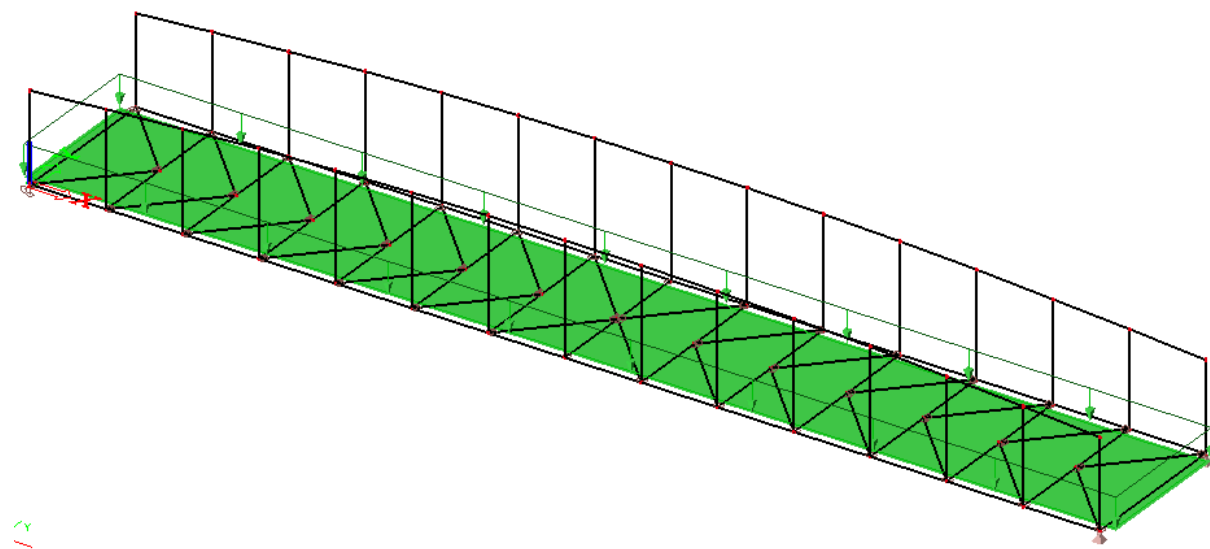
$$l_k = \pi^2 \sqrt{\frac{EI}{N_{cr}}}$$

Výpočet vzpěrné délky horního pasu z roviny hlavního nosníku pro jednotlivé varianty je pro každou variantu a průřezy pro ni navržené zpracován tabulkově v programu Excel a tyto výpočty jsou přiloženy jako PŘÍLOHA 1 této části diplomové práce.

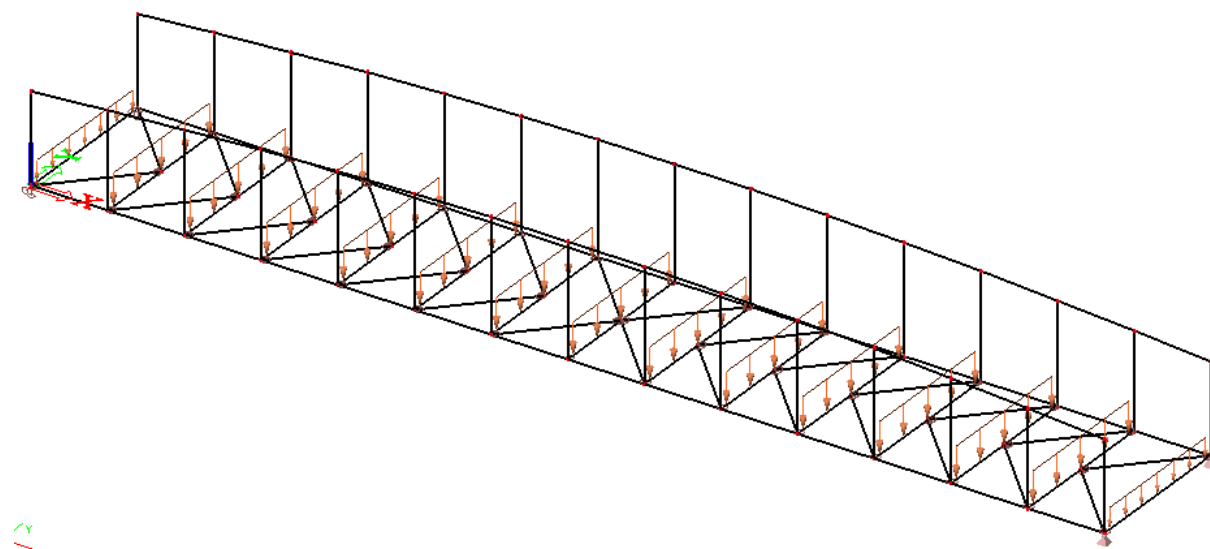
## 5.2 Model zatížení

Zatížení od vlastní tíhy modelovaných prvků, zatížení stálé, je generováno dle zvolených profilů programem Scia Engineer 2013.0.

Ostatní stálé zatížení a zatížení davem lidí jsou modelována pomocí generátoru rovinného zatížení, jako prvky pro roznos tohoto zatížení jsou vybrány příčníky a toto rovinné zatížení je rozneseno jako liniové zatížení na délku příčníku.



Obr. 19 Rovinné zatížení modelované pomocí generátoru



Obr. 20 Liniové zatížení příčníků určené roznosem rovinného zatížení

Pro zvolenou variantu řešení bude vypracován podrobnější model zatížení (vítr, teplota, atd.) a také zpracovány podrobnější kombinace zatížení.

## 6. POROVNÁNÍ VARIANT ŘEŠENÍ

### 6.1 Kritéria posuzování jednotlivých variant

V této kapitole je popsán postup výběru nejvhodnější varianty řešení lávky pro pěší podle daných počátečních předpokladů.

Kritéria výběru:

- |    |   |  |
|----|---|--|
| 0) | Bezpečnost  | Hlavním kritériem každé konstrukce musí být bezpečnost této konstrukce. Při optimalizaci průřezů se snažíme co nejvíce snížit spotřebu materiálu a tím i cenu konstrukce, avšak toto nesmí být provedeno na úkor tohoto kritéria, proto byla také pro návrh nejvhodnější varianty zvolena kombinace zatížení podle výrazu 6.10. Pro zvolenou variantu bude také vypracován podrobný model zatížení zohledňující i lokální účinky daných typů zatížení a také celkově podrobnější posudek všech prvků konstrukce lávky s řadou kontrol výpočtů. |
| 1) | Hmotnost/spotřeba materiálu                       | Optimalizace průřezů jednotlivých variant měla za cíl najít varianty s největším předpokladem pro nejnižší spotřebu materiálu na hlavní ocelové části konstrukce lávky. Tomuto kritériu je přidělena největší váha 0,5.  |
| 2) | Průhyb hlavních nosníků                           | Toto kritérium sleduje splnění podmínek pro průhyb konstrukce $L/250 = 33,6/250 = 134,4$ mm. Tomuto kritériu není přidělena váha, kontroluje se pouze jeho splnění.  |
| 3) | Estetika  | Vzhled varianty je důležitý a také to, jak působí na uživatele a jak zapadá do okolní krajiny. Tomuto hledisku je přiznána váha 0,3.   |
| 4) | Množství momentových přípojí                      | Momentové přípoje na konstrukci jsou jednou z částí konstrukce, která zvyšuje konečné náklady na provedení konstrukce a proto se také odrazí v tomto posouzení. Váha 0,1.  |
| 5) | Rezerva v únosnosti jednotlivých prvků konstrukce | Toto kritérium se snaží zohlednit omezený sortiment průřezů RHS a SHS v programu Scia Engineer 2013.0 a také to, že při použití svařovaného průřezu je možno rozměry průřezů navrhnout s vyšší variabilitou. Váha kritéria 0,1.  |

Jednotlivé varianty mohou za jednotlivá kritéria získat 1 – 3 body, které se následně přenásobí váhou kritéria a varianta s nejvyšším součtem vážených bodů bude vybrána jako nejvhodnější varianta řešení konstrukce lávky pro pěší a cyklistickou dopravu v Rožnově pod Radhoštěm.

## 6.2 Údaje pro posouzení variant řešení

### 6.2.1 Hmotnost konstrukce

Detailnější popis navržených průřezů, jednotkových posudků pro jednotlivé prvky nebo jejich části a výpočet hmotností pro jednotlivé varianty řešení lze nalézt v PŘÍLOZE 2 této části diplomové práce. Zde, viz níže, je zobrazen pouze přehled součtů hmotností pro dané varianty a uděleny body za dané kritérium. Pro toto kritérium budou použity i poloviny bodů pro lepší rozlišení rozsahu v hmotnostech jednotlivých variant.

VARIANTA	CELOKOVÁ HMOTNOST [kg]	BODY
STÁVAJÍCÍ	<b>42689</b>	-
12A	28589	1
12B	27282	2
12C	23905	2,5
14A	27550	2
14B	28616	1
14C	<b>23015</b>	3
15A	27435	2
15B	28358	1
15C	23519	3

Tabulka 5 Hmotnosti jednotlivých variant řešení a přidělené body

Navržené hmotnosti konstrukce jsou stále pouze orientační, hlavním cílem výběru varianty řešení bylo stanovit variantu s největším potenciálem na nejnižší spotřebu materiálu a tím se ukázaly být varianty se zakřiveným horním pásem.

### 6.2.2 Průhyb hlavních nosníků

U tohoto kritéria posuzujeme pouze splnění dané podmínky. Jsou uvedeny zvlášť průhyby hlavních nosníků od stálých zatížení, proměnných zatížení a jejich součet (vše pro charakteristickou kombinaci zatížení).

VARIANTA	PRŮHYB HL. NOSNÍKU [mm]			SPLNĚNÍ KRITÉRIA
	(L/250= 33600/250= 134,4 mm)			
	Σ STÁLA ZAT.	Σ PROMĚN. (DAV LIDÍ)	CELKEM	
STÁVAJÍCÍ	169,4	73,9	243,3	A
12A	55,9	45	100,9	A
12B	57,5	46,4	103,9	A
12C	57,3	49	106,3	A
14A	57,2	46,5	103,7	A
14B	52,4	42,4	94,8	A
14C	58,4	50	108,4	A
15A	55,8	45,5	101,3	A
15B	54,5	44	98,5	A
15C	56,3	48	104,3	A

Tabulka 6 Posouzení mezního průhybu hlavních nosníků

### 6.2.3 Estetika

Toto kritérium bylo hodnoceno mnou samým, několika mými spolužáky a rodinnými příslušníky, kteří žijí v Rožnově pod Radhoštěm a výsledkem tohoto „průzkumu“ je, že co je alespoň trochu křivé, to je hezké. Jako nejvíce estetická varianta byla označována varianta C, na druhém místě se umístila varianta A, která podle dotazovaných působila lépe kvůli své nižší výšce a jako poslední se umístila varianta B.

VARIANTA	BODY
A	2
B	1
C	3

Tabulka 7 Hodnocení variant z hlediska estetiky

### 6.2.4 Množství momentových přípojí

Toto kritérium je úzce svázáno s počtem svislic v dané variantě. Každá z těchto svislic vytváří s hlavními nosníky uzly, které budou při výrobě hlavních nosníků vyžadovat vytvoření svařovaných přípojí a také jsou na každou svislici je dvěma momentovými přípoji připojen příčník. Následující tabulka a přidělené body nebudou tedy žádným překvapením.

VARIANTA	BODY
12	3
14	2
15	1

Tabulka 8 Hodnocení variant z hlediska množství momentových přípojí

### 6.2.5 Rezerva v únosnosti jednotlivých prvků konstrukce

Toto hodnocení je nejvíce závislé na „citu“ autora, možná dokonce více než hodnocení z hlediska estetiky, ve kterém měl autor možnost provést jednoduchou anketu a proto také má toto hledisko malou váhu 0,1. Jednotlivé varianty a jejich hodnocení se nachází v tabulce níže:

VARIANTA	12A	12B	12C	14A	14B	14C	15A	15B	15C
BODY	1	1	2	1	2	3	3	2	3

Tabulka 9 Hodnocení variant z hlediska rezervy v únosnosti jednotlivých prvků

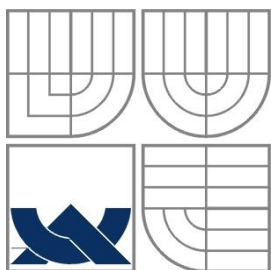
### 6.3 Vyhodnocení a volba varianty řešení

V této kapitole bude shrnuto hodnocení všech variant a bude vybrána varianta k dalšímu podrobnějšímu návrhu lávky pro pěší a cyklisty v Rožnově pod Radhoštěm.

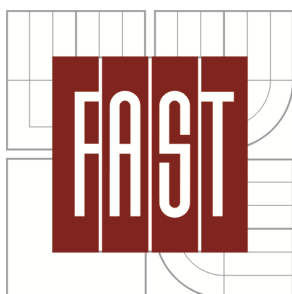
KRITÉRIUM							
VARIANTA	-	1	2	3	4	$\Sigma$	POŘADÍ
12A	BODY	1	2	3	1	-----	7
	VÁHA	0,5	0,3	0,1	0,1	-----	
	CELKEM	0,5	0,6	0,3	0,1	1,5	
12B	BODY	2	1	3	1	-----	6
	VÁHA	0,5	0,3	0,1	0,1	-----	
	CELKEM	1	0,3	0,3	0,1	1,7	
12C	BODY	2,5	3	3	2	-----	3
	VÁHA	0,5	0,3	0,1	0,1	-----	
	CELKEM	1,25	0,9	0,3	0,2	2,65	
14A	BODY	2	2	2	1	-----	5
	VÁHA	0,5	0,3	0,1	0,1	-----	
	CELKEM	1	0,6	0,2	0,1	1,9	
14B	BODY	1	1	2	2	-----	8
	VÁHA	0,5	0,3	0,1	0,1	-----	
	CELKEM	0,5	0,3	0,2	0,2	1,2	
14C	BODY	3	3	2	3	-----	1
	VÁHA	0,5	0,3	0,1	0,1	-----	
	CELKEM	1,5	0,9	0,2	0,3	2,9	
15A	BODY	2	2	1	3	-----	4
	VÁHA	0,5	0,3	0,1	0,1	-----	
	CELKEM	1	0,6	0,1	0,3	2	
15B	BODY	1	1	1	2	-----	9
	VÁHA	0,5	0,3	0,1	0,1	-----	
	CELKEM	0,5	0,3	0,1	0,2	1,1	
15C	BODY	3	3	1	3	-----	2
	VÁHA	0,5	0,3	0,1	0,1	-----	
	CELKEM	1,5	0,9	0,1	0,3	2,8	

Tabulka 10 Shrnutí hodnocení variant lávky a výběr nejvhodnější varianty

Jako nejvhodnější varianta řešení se jeví varianta 14C, tedy varianta se 14ti poli, 15 svislicemi a příčnicí a zakřiveným horním pasem hlavních nosníků.



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ  
ÚSTAV KOVOVÝCH A DŘEVĚNÝCH  
KONSTRUKCÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING  
INSTITUTE OF METAL AND TIMBER STRUCTURES

## OCELOVÁ LÁVKA PRO PĚŠÍ STEEL FOOTBRIDGE

ČÁST II.B: TECHNICKÁ ZPRÁVA  
PART II.B: ENGINEERING REPORT

DIPLOMOVÁ PRÁCE  
DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

Bc. RADEK BARTO

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

doc. Ing. MIROSLAV BAJER, CSc.

BRNO 2015



## Obsah

1. ÚVOD .....	3
2. ZÁKLADNÍ ÚDAJE .....	4
2.1 Údaje stavby .....	4
2.2 Popis objektu .....	4
2.3 Rozměry lávky.....	4
2.4 Charakter překážky.....	5
3. ZDŮVODNĚNÍ STAVBY .....	5
4. GEOLOGICKÉ PODMÍNKY .....	5
5. PROSTOROVÉ URČENÍ STAVBY .....	5
6. TECHNICKÉ ŘEŠENÍ LÁVKY .....	5
6.1 Zemní práce .....	5
6.2 Spodní stavba .....	5
6.3 Nosná konstrukce lávky.....	5
6.3.1 Hlavní nosníky.....	5
6.3.2 Příčníky .....	6
6.3.3 Vodorovné ztužení lávky .....	6
6.3.4 Mostovka .....	7
6.3.5 Ložiska .....	7
6.3.6 Mostní závěry .....	7
6.4 Příslušenství mostu.....	7
6.4.1 Pochozí vrstva.....	7
6.4.2 Bezpečnostní vybavení lávky .....	7
6.4.3 Izolace lávky.....	8
6.4.4 Odvodnění lávky .....	8
6.5 Materiály .....	8
6.5.1 Hlavní nosná konstrukce lávky .....	8
6.5.2 Trapézový plech mostovky .....	8
6.5.3 Šrouby.....	8
6.5.4 Ostatní materiály .....	8
6.6 Antikorozní ochrana ocelových částí lávky.....	9
6.7 Zatěžovací zkouška .....	9

---

6.8	Údržba lávky .....	9
6.9	Revize a prohlídky.....	9
7.	POSTUP MONTÁŽE LÁVKY .....	10
7.1	Zařízení staveniště .....	10
7.2	Bourací práce.....	10
7.3	Spodní stavba .....	10
7.4	Montáž a osazení nosné konstrukce lávky .....	11
7.5	Montáž mostovky .....	12
7.6	Dokončovací práce .....	12

## 1. ÚVOD

Tento projekt se zabývá návrhem a posouzením konstrukce lávky pro pěší a cyklisty. Stavba lávky bude provedena na místě stávající lávky pro chodce. Demolice konstrukce stávající lávky je popsána v samostatném projektu, který není součástí této diplomové práce. Jedná se tedy o novostavbu na nábreží Dukelských hrdinů v Rožnově pod Radhoštěm.

Konstrukce byla navržena podle platných evropských norem:

ČSN EN 1990:	Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí
ČSN EN 1991-1-1:	Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb
ČSN EN 1991-1-4:	Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem
ČSN EN 1991-1-5:	Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-5: Obecná zatížení – Zatížení teplotou
ČSN EN 1991-2:	Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 2: Zatížení mostů dopravou
ČSN EN 1992-1-1:	Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní konstrukce
ČSN EN 1993-1-1:	Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby
ČSN EN 1993-1-8:	Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-8: Navrhování styčníků
ČSN EN 1993-2:	Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 2: Ocelové mosty
ČSN EN 1337-1 až 10:	Stavební ložiska

## 2. ZÁKLADNÍ ÚDAJE

### 2.1 Údaje stavby

Název stavby:	Lávka pro pěší a cyklisty v Rožnově pod Radhoštěm
Obec:	Rožnov pod Radhoštěm
Kraj:	Zlínský
Katastrální území:	Rožnov pod Radhoštěm
Katastrální pracoviště:	Valašské Meziříčí
Zadavatel:	FAST, VUT v Brně Veveří 331/95 602 00 Brno

### 2.2 Popis objektu

Lávka je navržena jako prostý nosník tvořený dvojicí vierendeelových nosníků s proměnnou výškou. Nosníky jsou tvořeny svařovanými uzavřenými průřezy, kdy kolmo na rovinu nosníku mají všechny prvky stejný rozměr, neboli šířka nosníku je konstantní. Mostovka je navržena jako dolní podporovaná příčníky. Lávka je trvalá a nepohyblivá. Návrh a posouzení je proveden podle souboru norem ČSN EN a ČSN ISO platných k datu vypracování tohoto projektu.

### 2.3 Rozměry lávky

Teoretické rozpětí:	33,6	m	
Vzdálenost mezi závěrnými zídkami:	34,8	m	
Délka ocelové konstrukce:	34,4	m	
Šířka mezi zábradlím:	4,5	m	
Osová vzdálenost hlavních nosníků:	5,0	m	
Maximální výška konstrukce:	3,8	m	(obrysově)
	3,5	m	(osově)

## 2.4 Charakter překážky

Překonávanou překážkou je řeka Bečva, povodí Moravy. Tato řeka protéká prakticky středem města Rožnov pod Radhoštěm. Navržená konstrukce bude vybudována na místě stávající lávky pro pěší. Půdorysně svírá podélná osa lávky s tokem řeky úhel  $92^{\circ}(82,8^{\circ})$ , lávka je vedena v přímé s podélným sklonem 0,5%, klesá směrem od hlavní silnice do centra města. Lávka na obou stranách výškově navazuje na stávající upravený terén.

## 3. ZDŮVODNĚNÍ STAVBY

Nahrazení stávající lávky pro pěší je navrženo z důvodu zlepšení převádění cyklistické dopravy. Lávka se nachází v těsné blízkosti cyklostezky, která je velmi hojně využívána avšak stávající lávka neumožňuje bezpečný pohyb cyklistů a chodců dohromady a vjezd cyklistů je zakázán pomocí svislého dopravního značení. Pro společný pohyb cyklistů a chodců je navržen příčný řez podle TP179.

## 4. GEOLOGICKÉ PODMÍNKY

Geologické podmínky jsou zjišťovány pro návrh a posouzení spodní stavby lávky, která není součástí této diplomové práce. Tato práce pouze udává hodnoty reakcí působících na ložiska a typ ložisek podpíraných spodní stavbou, tedy i reakce na spodní stavbu a jejich roznos pomocí ložisek.

## 5. PROSTOROVÉ URČENÍ STAVBY

Vytyčení spodní stavby bude provedeno v souřadném systému S-JTSK a výškovém systému Bpv. Napojení je možné provést na bod podrobného bodového pole č. 677.

## 6. TECHNICKÉ ŘEŠENÍ LÁVKY

### 6.1 Zemní práce

Zemní práce jsou řešeny při návrhu spodní stavby lávky. Toto není součástí této diplomové práce.

### 6.2 Spodní stavba

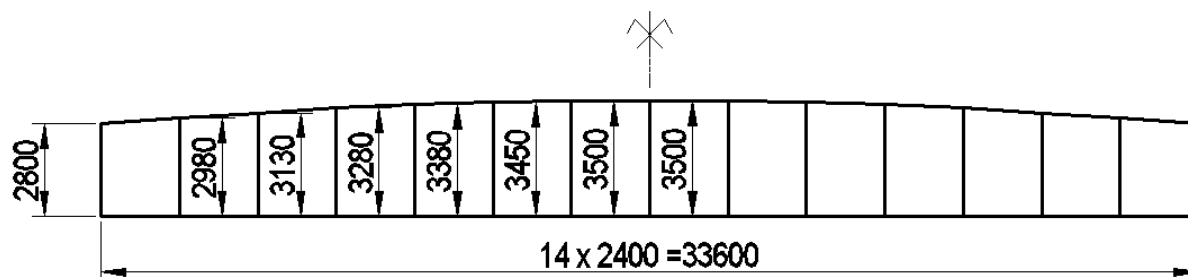
Konstrukce je uložena na dvou krajních železobetonových opěrách uložených na železobetonových základech. Návrh a posouzení spodní stavby není součástí této diplomové práce.

### 6.3 Nosná konstrukce lávky

Nosná konstrukce lávky je tvořena dvěma hlavními vierendeelovými nosníky spojenými příčníky, na které je uložena mostovka. Vodorovná tuhost lávky je zajištěna vodorovným příhradovým ztužením umístěným pod mostovkou lávky. Součástí ztužení jsou také příčníky a spodní pasy hlavních nosníků. Hlavní nosná konstrukce lávky je navržena z oceli S275.

#### 6.3.1 Hlavní nosníky

Jako hlavní nosníky jsou navrženy dva svařované vierendeelové nosníky. Teoretické rozpětí hlavního nosníku je 33,6 m, minimální výška nad podporami je osově 2,8 m a maximální, uprostřed rozpětí, je osově 3,5 m. Horní pas nosníku je ve tvaru polygonu aproximujícího tvar paraboly  $2^{\circ}$ , viz schéma.



Obr. 1 Osově schéma hlavního nosníku

Osová vzdálenost mezi svislicemi je 2,4 m a mezi hlavními nosníky je 5 m. Šířka všech prvků hlavního nosníku a tím i samotného hlavního nosníku je 0,3 m. Jednotlivé prvky se pak liší druhým rozměrem a tloušťkou plechu, ze kterého jsou svařeny.

Hlavní nosníky jsou složeny z prvků, které lze rozdělit na:

- 1) Styčníky dolního pasu
- 2) Styčníky horního pasu
- 3) Pruty dolního pasu
- 4) Pruty horního pasu
- 5) Pruty svislic

Všechny tyto prvky jsou vyrobeny jako svařované z plechu pomocí tupých svarů s plným průvarem. Tvar příčného řezu prutů je čtverec nebo obdélník. Jednotlivé části hlavního nosníku jsou ve výrobně spojeny tupými svary typu Y s plným průvarem a pro jeden hlavní nosník jsou vytvořeny tři přepravní celky. Tyto jsou na stavbě spojeny pomocí montážního tupého svaru typu Y. U všech svarů, jak dílenských tak montážních je předepsána vizuální kontrola provedení svaru.

Jednotlivé prvky a spoje jsou detailně popsány - rozměry, tloušťky plechu, použité svary - na sestavných a výrobních výkresech, které jsou součástí přílohy této diplomové práce.

### 6.3.2 Příčníky

Profil příčníků je navržen jako HEA220. Příčník je tvořen krajními a střední částí. Krajní části, délka 220 mm, jsou již v dílně přivařeny na styčník spodního pasu pomocí koutových svarů, pro ztužení profilu spodního pasu je naproti stojině příčníku vevařeno diafragma, z plechu tl. 10 mm, pro zvýšení tuhosti profilu. Na krajní části příčníků jsou také přivařeny čelní desky - tl. 12 mm, koutový svar - pro provedení montážního šroubovaného spoje – šrouby M16, materiál 6.8 - prováděné při sestavování lávky na stavbě. Střední část příčníku, délky 4,212 m, je opatřena shodnými čelními deskami, tl. 12 mm pro provedení montážního šroubovaného spoje.

### 6.3.3 Vodorovné ztužení lávky

Vodorovné ztužení je navrženo jako příhradové, jeho součástí jsou také příčníky a pruty spodního pasu hlavních nosníků. Diagonály ztužidla jsou navrženy jako kruhové trubky, profil RO82.5x5 a RO63.5x5, připojené na příčníky pomocí styčnickových plechů tl. 6, a šroubových spojů – šrouby M20 a M16, materiál 6.8. Celková délka diagonály ztužidla je 3,200 m. Ve spojení kruhové trubky a styčnickového plechu je trubka opatřena přivařeným víčkem z plechu tl. 6 mm.

### 6.3.4 Mostovka

Mostovka je navržena jako nosný trapézový plech o výšce vlny 107 mm a tloušťce stěny 1.5 mm. Je třeba dbát na správné uložení plechu a také jeho ukotvení k příčníkům pomocí samovrtných šroubů do předvrtaných otvorů a to v každé spodní vlně trapézového plechu. Jako ukončovací profil na obou okrajích mostovky je navržen válcovaný L profil L 180/90/10. Tyto ukončovací profily jsou dlouhé 2,4m a k příčníkům jsou uchyceny pomocí šroubu M16, materiál 6.8.

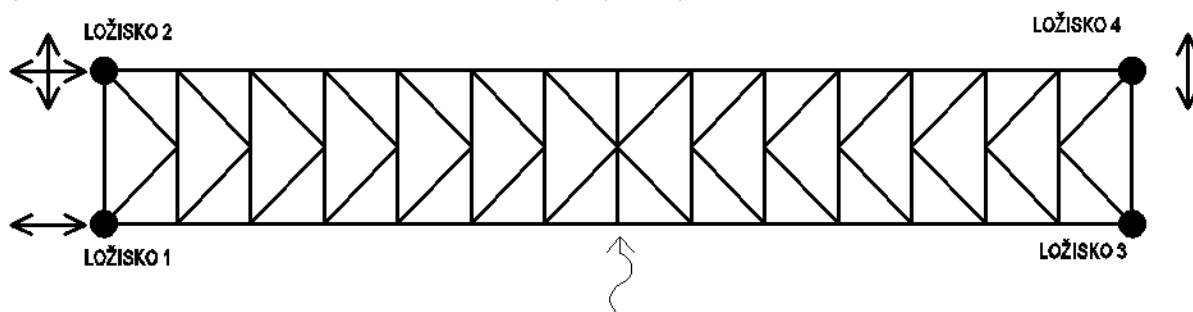
Na trapézový plech je položena konstrukční výztuž z KARI sítě  $\Phi 4$  mm, oka 150x150 mm z betonářské oceli B 420B. Její poloha je zajištěna pomocí distančních tělísek o výšce 15 mm. Na obou koncích lávky jsou osazeny mostní dilatační závěry a je provedena betonáž desky z betonu C16/20 v minimální tloušťce 40 mm na vlnu trapézového plechu na krajích mostovky a 90 mm nad vlnu trapézového plechu v ose lávky, takto bude vytvořen příčný sklon mostovky lávky o velikosti 2,22%.

Na desku z výplňového betonu je nanесena pochozí/pojízdná a zároveň hydroizolační vrstva tl. 15 mm z materiálu na bázi asfaltu, například Latexfalt Parkdeck, nanášený ve dvou vrstvách.

Voda je z mostovky odvedena povrchově pomocí příčného a podélného sklonu lávky. V ukončovacím profilu mostovky jsou po vzdálenosti 4,8 m provedeny odvodňovací otvory a okenička pro odvod dešťové vody mimo konstrukci lávky do překonávaného vodního toku.

### 6.3.5 Ložiska

Byla navržena elastomerová ložiska s umožněnými posuny dle schématu níže.



Obr. 2 Schéma umístění ložisek a umožněných posunů v nich

Podrobný návrh ložisek je proveden v ČÁSTI II.C - Statický výpočet.

### 6.3.6 Mostní závěry

Mostní závěry jsou navrženy na obou koncích lávky jako mostní závěr s jednoduchým těsněním spáry. K tomuto lze použít například mostní závěry firmy RW Engineering WSF® 80 s umožněnými posuny  $\pm 40$  mm. Detaily napojení a postup montáže budou předloženy dodavatelem mostních závěrů.

## 6.4 Příslušenství mostu

### 6.4.1 Pochozí vrstva

Pochozí vrstvu tvoří hydroizolační pochozí/pojízdná vrstva tl. 15 mm z Latexfaltu Parkdeck. Nanášená ve dvou vrstvách.

### 6.4.2 Bezpečnostní vybavení lávky

Na obou stranách je osazeno prodyšné zábradlí do výšky 1100 mm na pochozí vrstvu mostovky. Čistá vzdálenost mezi madly 4,5 m. Maximální vzdálenost mezi výplňovými prvky zábradlí max. 120 mm.

### 6.4.3 Izolace lávky

Jako izolace proti vodě funguje pochozí vrstva z Latexfaltu Parkdeck.

### 6.4.4 Odvodnění lávky

Odvodnění lávky je provedeno povrchově pomocí příčného sklonu 2,22% a podélného sklonu 0,5%. Při okrajích mostovky jsou navrženy odvodňovače po vzdálenostech 4,8 m pro odvedení vody mimo konstrukci lávky.

## 6.5 Materiály

### 6.5.1 Hlavní nosná konstrukce lávky

Hlavním materiálem nosné ocelové konstrukce lávky je ocel S275.

Youngův modul	$E =$	210 000	MPa
Modul pružnosti ve smyku	$G =$	81 000	MPa
Mez kluzu	$f_y =$	275	MPa (t<40 mm)
		255	MPa (t>40 mm)
Mez pevnosti	$f_u =$	430	MPa (t<40 mm)
		410	MPa (t>40 mm)
Tepelná roztažnost	$\mu =$	$1,2 \cdot 10^{-5}$	$K^{-1}$
Jednotková hmotnost	$\rho =$	7850,0	$kg \cdot m^{-3}$
Poissonův součinitel	$\eta =$	0,3	-

### 6.5.2 Trapézový plech mostovky

Hlavním materiálem nosné ocelové konstrukce lávky je ocel S320G dle EN 10147.

Youngův modul	$E =$	210 000	MPa
Modul pružnosti ve smyku	$G =$	81 000	MPa
Mez kluzu	$f_y =$	320	MPa
Mez pevnosti	$f_u =$	390	MPa
Tepelná roztažnost	$\mu =$	$1,2 \cdot 10^{-5}$	$K^{-1}$
Jednotková hmotnost	$\rho =$	7850,0	$kg \cdot m^{-3}$
Poissonův součinitel	$\eta =$	0,3	-

### 6.5.3 Šrouby

M20 a M16, materiál 6.8:	Mez pevnosti	$f_{ub} =$	600	MPa
	Mez kluzu	$f_{yb} =$	480	MPa

### 6.5.4 Ostatní materiály

Výplňový beton mostovky: C16/20

Betonářská výztuž (KARI síť): B 420B



## 6.6 Antikorozní ochrana ocelových částí lávky

Antikorozní ochrana ocelových částí nosné konstrukce lávky je navržena podle zásad ČSN EN ISO 12944 – 1 až 8.

- |                                       |   |
|---------------------------------------|---|
| • Stupeň korozní agresivity prostředí | C3  |
| • Životnost nátěru                    | H (vysoká)  |
| • Typ                                 | základní nátěry v dílně (svařitelný základní nátěr pro možnost provedení montážních svarových spojů), oprava základního nátěru po svařování a vrchní nátěry na stavbě |
| • Stupeň přípravy povrchu             | Sa2½  |
| • Základní nátěr                      | např. SikaCor® EP Color<br>80 µm  |
| • Vrchní nátěr                        | např. SikaCor® EP Color<br>80 µm  |

Jako základní nátěr musí být použit svařitelný typ základního nátěru, nutné zkontrolovat s dodavatelem nátěru, respektive výrobcem ocelové konstrukce. Po provedení montážních svarů musí být provedena oprava základního nátěru v okolí provedených svarů. Následuje provedení vrchních vrstev ochranného nátěru.

## 6.7 Zatěžovací zkouška

Před uvedením lávky do provozu bude provedena závěrečná prohlídka konstrukce lávky. Následně na to bude provedena statická a dynamická zkouška lávky.

Při statické zatěžovací zkoušce budou sledovány průhyby hlavních nosníků konstrukce a také posuny v uložení lávky, tedy také sedání a natočení krajních opěr.

Při dynamické zatěžovací zkoušce budou sledována zrychlení lávky ve svislém a vodorovném směru a také kmitání lávky. Výstupem dynamické zkoušky bude také skutečná hodnota tlumení lávky, která bude porovnaná s uvažovanou hodnotou tlumení.

## 6.8 Údržba lávky

Firma provádějící výstavbu lávky je povinna vypracovat návod k údržbě a užívání konstrukce lávky pro pěší a cyklisty obsahující plán prohlídek a údržby lávky. V tomto dokumentu je třeba pamatovat na pravidelné kontroly ložisek a závěrů, průchodnosti odvodňovacích zařízení a nutnost čištění konstrukce od posypových materiálů pro zimní období.

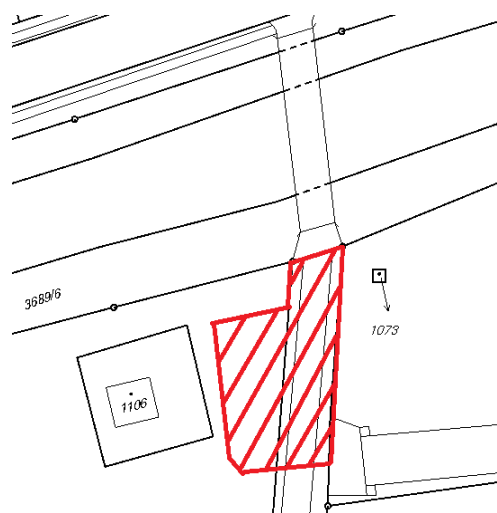
## 6.9 Revize a prohlídky

Revize a prohlídky budou popsány v návodu k údržbě a užívání konstrukce lávky pro pěší a cyklisty, viz. kapitola 6.8.

## 7. POSTUP MONTÁŽE LÁVKY

V této kapitole je popsán doporučený postup montáže lávky pro pěší a cyklistickou dopravu v Rožnově pod Radhoštěm. Jakákoli změna v postupu montáže musí být dostatečně prověřena z hlediska statiky a proveditelnosti. Jako postup montáže lávky bylo zvoleno vysouvání ze strany od centra města, směrem k hlavní cestě.

### 7.1 Zařízení staveniště



Obr. 3 Schéma možného umístění staveniště

Pro vymezení staveniště musí být vypracován plán organizace stavby. Jako nejvhodnější lokalita pro umístění zařízení stavby se jeví prostor parkoviště směrem do centra města.

V průběhu stavby nebude řešena náhradní možnost překonání řeky Bečvy, tato je umožněna ostatními lávkami a silničními mosty po a proti proudu řeky Bečvy.

Po celou dobu výstavby musí být řádně značen odklon uživatelů cyklostezky na vedlejší komunikaci, vedoucí středem městského parku, a to vždy v místech možného napojení z cyklostezky na tuto náhradní komunikaci. Toto značení je nutno pravidelně kontrolovat.

### 7.2 Bourací práce

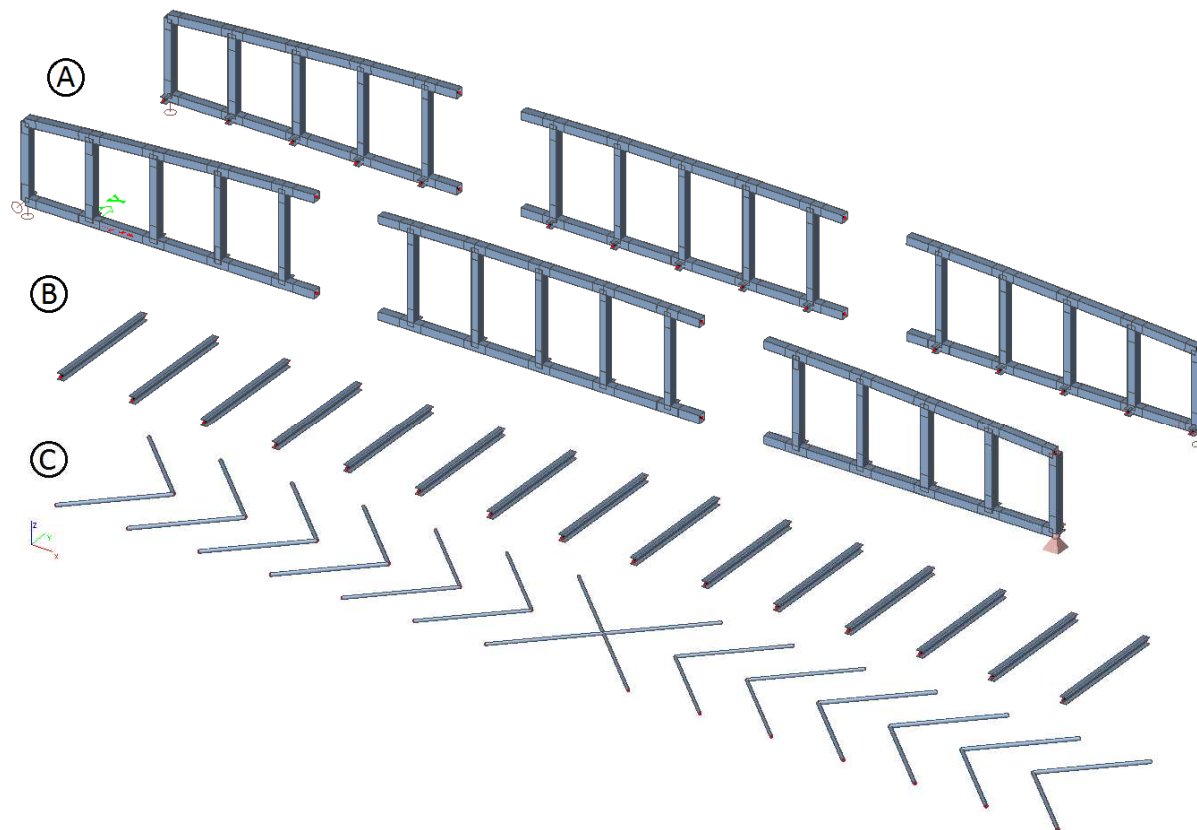
Stávající konstrukci lávky pro pěší je třeba demontovat a s odpady nakládat podle platných předpisů. Pro bourací práce je vypracován samostatný projekt bouracích prací, který není součástí této diplomové práce.

### 7.3 Spodní stavba

Spodní stavba lávky je provedena podle samostatného projektu spodní stavby, který není součástí této diplomové práce. Provádění se řídí platnou legislativou a normami. V průběhu výstavby jsou na spodní stavbu osazena ložiska do předem připravených tvorů a také veškeré části mostních závěrů osazených do spodní stavby lávky.

## 7.4 Montáž a osazení nosné konstrukce lávky

Na staveništi jsou dopraveny z výroby všechny části hlavní nosné konstrukce:



Obr. 4 Schéma montážních celků hlavních nosníků a ostatních částí nosné ocelové konstrukce lávky

A. Montážní celky hlavních nosníků	6	ks
B. Střední části příčníků	15	ks
C. Prvky vodorovného ztužení	28	ks
D. Nosný trapézový plech		

Montážní celky hlavních nosníků jsou spojeny pomocí navržených tupých svarů v celek hlavního nosníku. Poloha prvků pro svařování je zajištěna montážním šroubovým spojem přes úhelníky, který je po zajištění polohy prvků bodovými svary odstraněn a je proveden tupý svar s plným průvarem pro daný montážní spoj. Po provedení svarů jsou opraveny základní nátěry ochrany proti korozi v místech provedených spojů.

Po jejich sestavení jsou hlavní nosníky umístěny do polohy pro vysouvání a jsou dočasně zajištěny svislým montážním křížovým ztužením ve třech místech konstrukce.

Dále je provedena montáž středních částí příčníků a následně také prvků vodorovného ztužidla pomocí šroubových spojů.

Po dokončení montáže hlavních prvků nosné ocelové konstrukce je proveden ochranný nátěr proti korozi, viz kapitola 6.6.

Následně je na příčnících upevněn nosný trapézový plech pomocí samovrtných šroubů do předvrtaných otvorů menšího průměru. Připevnění je provedeno v každé spodní vlně plechu. Počet a rozmístění šroubů v přípoji je určeno dodavatelem trapézového plechu. V krajních částech budoucí

mostovky jsou osazeny ukončovací profily z úhelníku L180/90/10 pomocí šroubových spojů, vždy mezi dvěma příčníky.

Takto sestavená konstrukce je připraven pro vysouvání. Technologie vysouvání a posouzení montážních fází není součástí této diplomové práce.

Ložiska jsou upevněna na hlavní nosníky již ve výrobně spolu s přivařenými trny pro upevnění na spodní stavbu. Po vysunutí lávky na požadovanou pozici je lávka dočasně podepřena. Upevňovací trny ložisek jsou vloženy do předem připravených otvorů ve spodní stavbě a usazeny do požadované pozice. Následně jsou ložiska a trny podlita vhodnou maltovou směsí. Po zatvrdnutí směsi je odstraněno montážní podepření.

Dále je nainstalováno zábradlí pro zajištění bezpečnosti při provádění mostovky lávky.

## 7.5 Montáž mostovky

Na trapézový plech je položena kari síť  $\varnothing 4$  mm, oka 150x150 mm. Jejich poloha je zajištěna pomocí distančních tělísek o výšce 15 mm. Na obou koncích mostovky je osazena konstrukce závěru lávky.

Následuje betonáž výplňové a roznášecí desky mostovky o tloušťce min. 40 mm nad vlnu trapézového plechu v krajních částech mostovky a max. 90 mm v ose lávky. Tímto je vytvořen příčný sklon lávky o velikosti 2,22%.

Na betonovou desku mostovky je ve dvou vrstvách nanášena pochozí a hydroizolační vrstva Latexfaltu Parkdeck® dle pokynů dodavatele. Před provedením pochozí vrstvy je třeba osadit všechny důležité prvky odvodnění povrchu lávky.

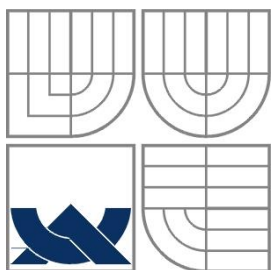
## 7.6 Dokončovací práce

Po provedení pochozí vrstvy mostovky lávky jsou osazeny zbývající prvky zábradlí a je nainstalováno osvětlení lávky.

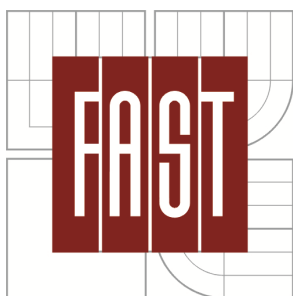
V průběhu dokončovacích prací jsou také dokončeny úpravy terénu v okolí spodní stavby lávky.

V Brně dne 16.1.2015

.....  
Radek Bartoň



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ  
ÚSTAV KOVOVÝCH A DŘEVNÝCH  
KONSTRUKCÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING  
INSTITUTE OF METAL AND TIMBER STRUCTURES

## OCELOVÁ LÁVKA PRO PĚŠÍ STEEL FOOTBRIDGE

ČÁST II.C: STATICKÝ VÝPOČET  
PART II.C: STRUCTURAL ANALYSIS

DIPLOMOVÁ PRÁCE  
DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

Bc. RADEK BARTO

VEDOUcí PRÁCE  
SUPERVISOR

doc. Ing. MIROSLAV BAJER, CSc.

BRNO 2015

## Obsah

1. ÚVOD .....	4
2. POPIS GEOMETRIE KONSTRUKCE .....	4
3. VÝPOČTOVÝ MODEL KONSTRUKCE .....	6
4. ZATÍŽENÍ .....	12
4.1 Stálá zatížení .....	12
4.1.1 Vlastní tíha konstrukce .....	12
4.1.2 Ostatní stálé zatížení .....	12
4.2 Proměnná zatížení .....	12
4.2.1 Zatížení chodci .....	13
4.2.2 Mimořádný výskyt vozidla na lávce .....	13
4.2.3 Zatížení zábradlí .....	13
4.3 Klimatická zatížení .....	14
4.3.1 Zatížení větrem .....	14
4.3.2 Zatížení teplotou .....	22
4.3.3 Zatížení námrazou .....	23
4.4 Zatížení lávky na únavu .....	27
5. ZATĚŽOVACÍ STAVY .....	28
5.1 Schémata pro zatěžovací stavy .....	29
5.2 Nastavení zatěžovacích stavů a skupin zatížení .....	31
6. MODEL ZATÍŽENÍ A HMOT .....	32
6.1 Zatížení .....	32
6.2 Hmoty .....	34
7. KOMBINACE ZATÍŽENÍ .....	36
7.1 Předpis kombinací zatížení .....	36
7.2 Kombinace zatížení .....	37
8. NÁVRH A POSOUZENÍ MOSTOVKY .....	38
8.1 Úvod .....	38
8.2 Materiály .....	38
8.3 Zatížení mostovky .....	38
8.3.1 Zatížení stálá .....	38
8.3.2 Zatížení proměnná .....	39

8.3.3	Mimořádná zatížení.....	40
8.4	Stanovení vnitřních sil pro návrh mostovky .....	41
8.5	Kombinace zatížení.....	42
8.5.1	Kombinace pro mezní stav únosnosti.....	42
8.5.2	Kombinace pro mimořádné návrhové situace .....	42
8.5.3	Kombinace pro mezní stav použitelnosti .....	42
8.5.4	Kombinace vnitřních sil .....	42
8.6	Posouzení návrhu mostovky.....	43
8.6.1	Posouzení pro mimořádnou návrhovou situaci .....	43
8.6.2	Posouzení pro trvalou a dočasnou návrhovou situaci – dav lidí .....	44
8.6.2	Posouzení pro trvalou a dočasnou návrhovou situaci – soustředěné zatížení .....	44
8.6.3	Posouzení montážní fáze.....	44
8.6.4	Posouzení na mezní stav použitelnosti.....	45
9.	NÁVRH A POSOUZENÍ JEDNOTLIVÝCH PRVKŮ OCELOVÉ NOSNÉ KONSTRUKCE LÁVKY PRO PĚŠÍ A CYKLISTICKOU DOPRAVU.....	46
9.1	Materiál .....	46
9.2	Návrh a posouzení příčníků .....	47
9.2.1	Návrhové hodnoty vnitřních sil pro posouzení .....	47
9.2.2	Průřezové charakteristiky.....	48
9.2.3	Posouzení na normálovou sílu a vzpěrný tlak .....	49
9.2.4	Posouzení na posouvající sílu .....	50
9.2.5	Posouzení pro ohybové momenty.....	51
9.2.6	Posouzení na kombinované namáhání ohybem a normálovou silou.....	51
9.2.7	Posouzení příčníků na mezní stav použitelnosti.....	52
9.4	Návrh a posouzení vodorovného ztužení.....	53
9.4.1	Návrh a posouzení vodorovného ztužidla PROFIL 1 .....	54
9.4.2	Návrh a posouzení vodorovného ztužidla PROFIL 2.....	55
9.4.3	Posouzení vodorovného ztužidla na mezní stav použitelnosti.....	56
9.5	Návrh a posouzení hlavního nosníku.....	56
9.5.1	Návrh a posouzení jednotlivých částí svislic.....	57
9.5.2	Návrh a posouzení jednotlivých částí horního pasu.....	62
9.5.3	Návrh a posouzení jednotlivých částí dolního pasu .....	68
9.5.4	Posudek hlavních nosníků na mezní stav použitelnosti .....	70

9.5.5	Shrnutí .....	70
9.6	Návrh a posouzení spojů .....	71
9.6.1	Tupé svary hlavních nosníků.....	71
9.6.2	Návrh a posouzení přípojí příčníku.....	71
9.6.3	Návrh a posouzení připojení ztužidel .....	81
9.7	Návrh a posouzení ložisek a závěrů.....	88
9.7.1	Schéma rozmístění a označení ložisek.....	88
9.7.2	Ložisko 1 .....	89
9.7.3	Ložisko 2 .....	90
9.7.4	Ložisko 3 .....	91
9.7.5	Ložisko 4 .....	92
9.8	Dynamická analýza konstrukce .....	93
9.8.1	Zvýšení vlastních frekvencí lávky.....	96
9.8.2	Dynamický posudek lávky.....	99
10.	ZÁVĚR .....	107
11.	POUŽITÁ LITERATURA.....	108

#### PŘÍLOHY:

PŘÍLOHA 1	JEDNOTLKOVÉ POSUDKY PRVKŮ NOSNÉ OCELOVÉ KONSTRUKCE LÁVKY
PŘÍLOHA 2	VÝPOČET VZPĚRNÝCH DÉLEK HORNÍHO PASU HLAVNÍCH NOSNÍKŮ
PŘÍLOHA 3	ČLÁNEK Z ČASOPISU STAVEBNÍ OBZOR
PŘÍLOHA 4	DOKUMENT VÝPOČETNÍHO PROGRAMU SCIA ENGINEER 2013.0
PŘÍLOHA 5	VÝKRESY
– 5.01	VÝKRES SITUACE A PODÉLNÝ POHLED
– 5.02	PŘÍČNÉ ŘEZY
– 5.03	SESTAVNÝ VÝKRES HLAVNÍHO NOSNÍKU – POHLED
– 5.04	PŮDORYS HORIZONTÁLNÍHO ZTUŽENÍ LÁVKY A PŘÍČNÉ ŘEZY
– 5.05	VÝROBNÍ VÝKRES SVAŘOVANÝCH PRVKŮ HLAVNÍHO NOSNÍKU
– 5.06	VÝROBNÍ VÝKRES OSTATNÍCH PRVKŮ LÁVKY
– 5.07	VIZUALIZACE
PŘÍLOHA 6	VÝKAZ MATERIÁLU



## 1. ÚVOD

Tento statický výpočet obsahuje návrh a posouzení všech důležitých částí vybrané varianty řešení lávky pro pěší a cyklistickou dopravu. Oproti původní geometrii konstrukce použité v části pro výběr varianty řešení bylo rozhodnuto o posunu příčníků a mostovky lávky co nejnižší při zachování připojení příčníků na styčníky dolního pasu.

Pro návrh a posouzení je použit soubor norem ČSN EN platných k datu vydání tohoto statického výpočtu. Seznam norem a zdrojů použitých k vypracování tohoto statického posudku je uveden v závěru tohoto dokumentu.

Jako podpora k vypracování tohoto dokumentu byl využit výpočetní software Scia Engineer 2013.0, Microsoft Word, Microsoft Excel, AutoCAD 2010.

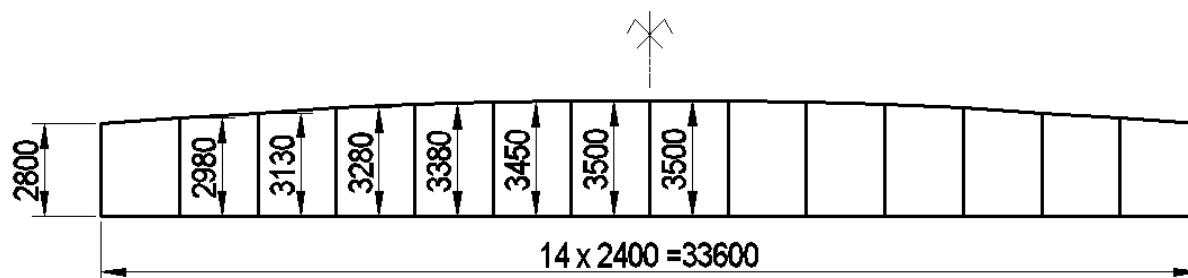
Tento statický výpočet popisuje geometrii konstrukce, model konstrukce, popis stanovení hodnot a model zatížení, zatěžovací stavy, metodiku vytváření kombinací zatížení a posouzení průřezů, detailů a spojů podle mezních stavů únosnosti a použitelnosti pro jednotlivé části konstrukce.

## 2. POPIS GEOMETRIE KONSTRUKCE

Podrobný popis jednotlivých prvků konstrukce, montáže, povrchových úprav a detailů je rozepsán v technické zprávě, ČÁST II.B. V této kapitole je popsána základní geometrie řešené konstrukce.

Nosnou konstrukci lávky tvoří dva hlavní Vierendeelové nosníky propojené příčnými v každém řezu procházejícím osami svislic. Vodorovné ztužení lávky je zajištěné pomocí vodorovného ztužidla umístěného pod mostovkou, součástí ztužidla jsou také příčnický a dolní pásy hlavních nosníků. Mostovka je uložena na příčnický a zatížení z ní je pomocí příčnický přenášeno do hlavních nosníků.

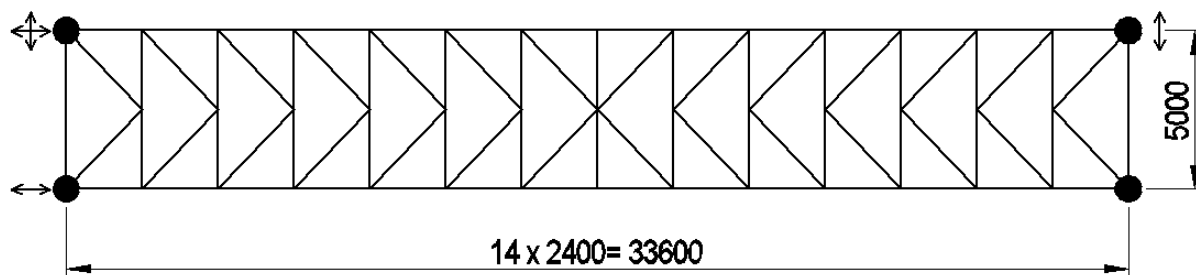
Hlavní nosníky se skládají z horního a dolního pásu, které jsou mezi sebou propojené svislicemi. Styčníky mezi svislicemi a pásy přenášejí ohybové momenty. Osová vzdálenost mezi horním a dolním pasem je proměnná. Horní pás je navržen jako polygon aproximující tvar paraboly druhého stupně. Osová vzdálenost svislic vybrané varianty je 2,4 m, minimální výška svislice je 2,8 m a maximální je 3,5 m viz schéma níže.



Obr. 1 Osově schéma hlavního nosníku zvolené varianty řešení

Všechny prvky, které tvoří hlavní nosníky, budou navrženy jako uzavřený svařovaný čtvercový nebo obdélníkový průřez o jednom konstantním rozměru pro snadné spojování mezi prvky.

Osová vzdálenost mezi hlavními nosníky byla navržena 5,0 m a to s ohledem na navržený příčný řez lávky dle TP 179, viz dále.

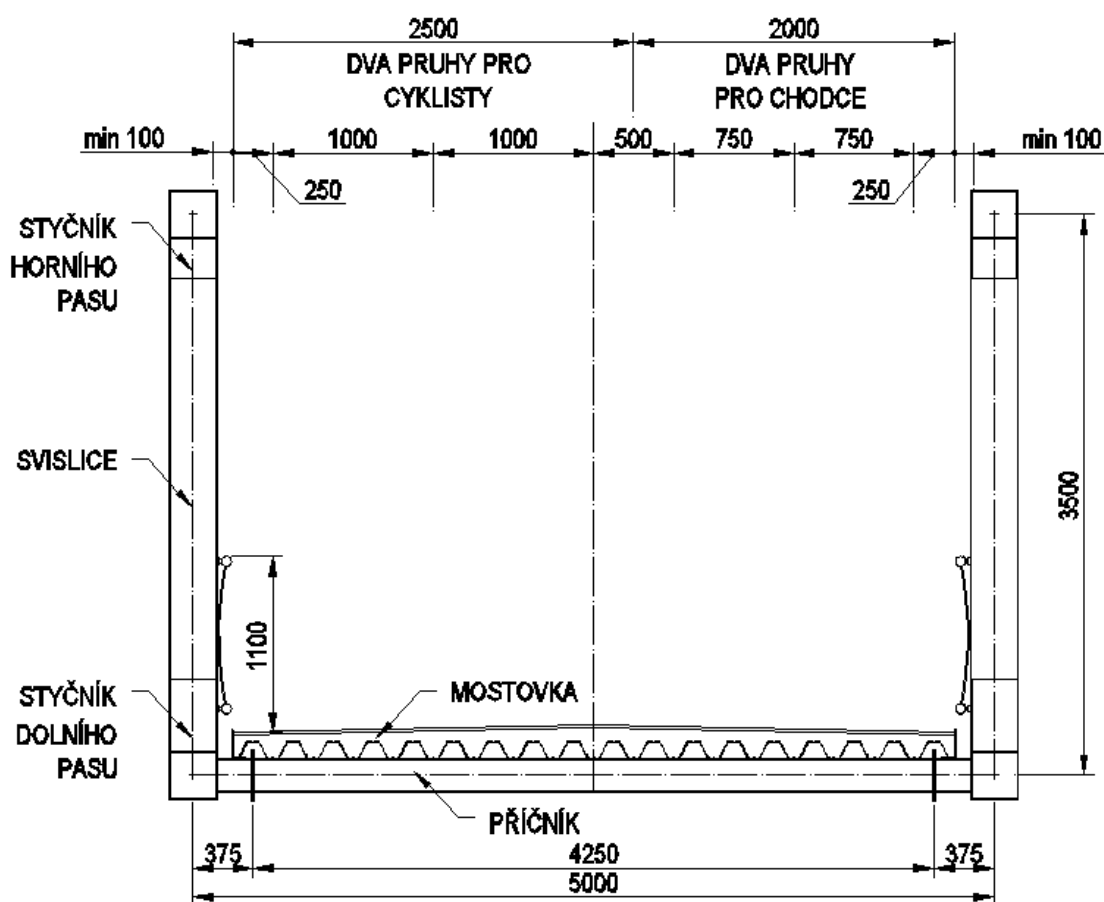


Obr. 2 Půdorysné schéma geometrie lávky

Příčnický spojují hlavní nosníky v místě každé svislice. Profil příčnicku je navržen jako za tepla válcovaný H profil. Připojení k hlavnímu nosníku je navrženo jako momentový přípoj pro tuhou osu příčnicku a jako kloubový přípoj pro měkkou osu.

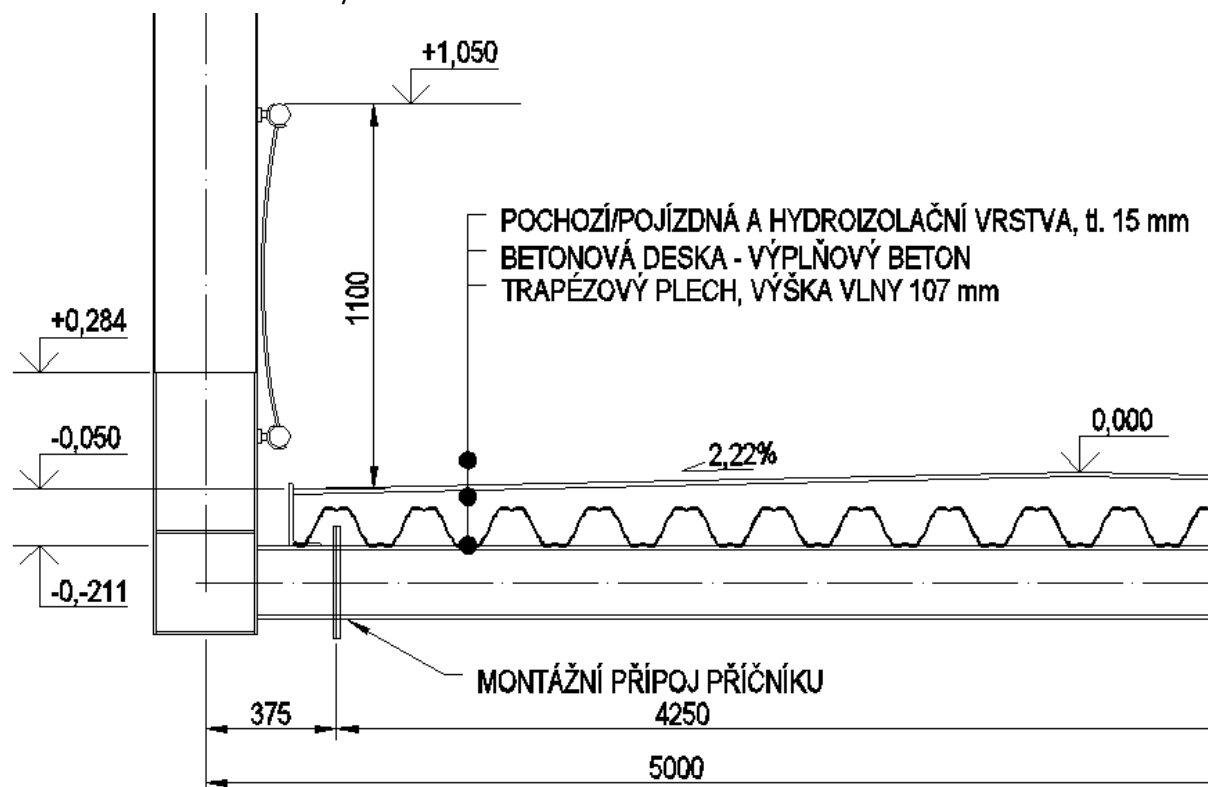
Vodorovné ztužení je zajištěno příhradovým ztužidlem umístěným pod mostovkou lávky. Diagonály ztužidla jsou navrženy jako kruhové trubky kloubově připojené k příčnickům pomocí kloubů.

Mostovka je navržena jako železobetonová deska nosná v jednom směru, rovnoběžně s podélnou osou řešené lávky. Mostovka kopíruje podélný sklon lávky 5‰ a je navržena ve střeovitěm sklonu o spádu 2,22‰.



Obr. 3 Schéma příčného řezu lávky pro pěší a cyklistickou dopravu dle TP179 v L/2

Navrženou skladbu mostovky lze vidět na schématu níže.

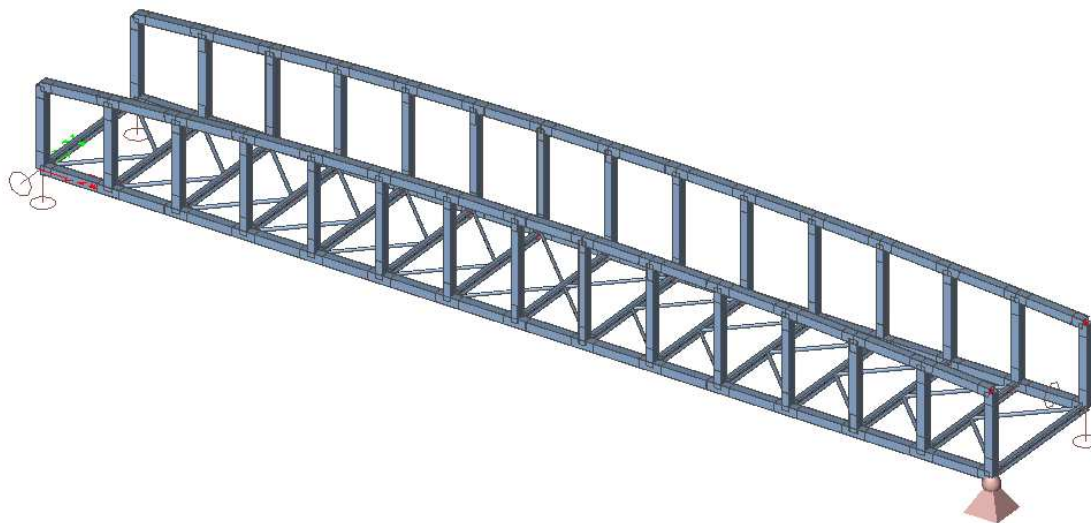


Obr. 4 Schéma sklady mostovky a výškových poměrů na příčném řezu

Použité materiály:	Ocelová nosná konstrukce	ocel S275
	Trapézový plech mostovky	ocel S320G
	Výplňový beton mostovky	C16/20

### 3. VÝPOČTOVÝ MODEL KONSTRUKCE

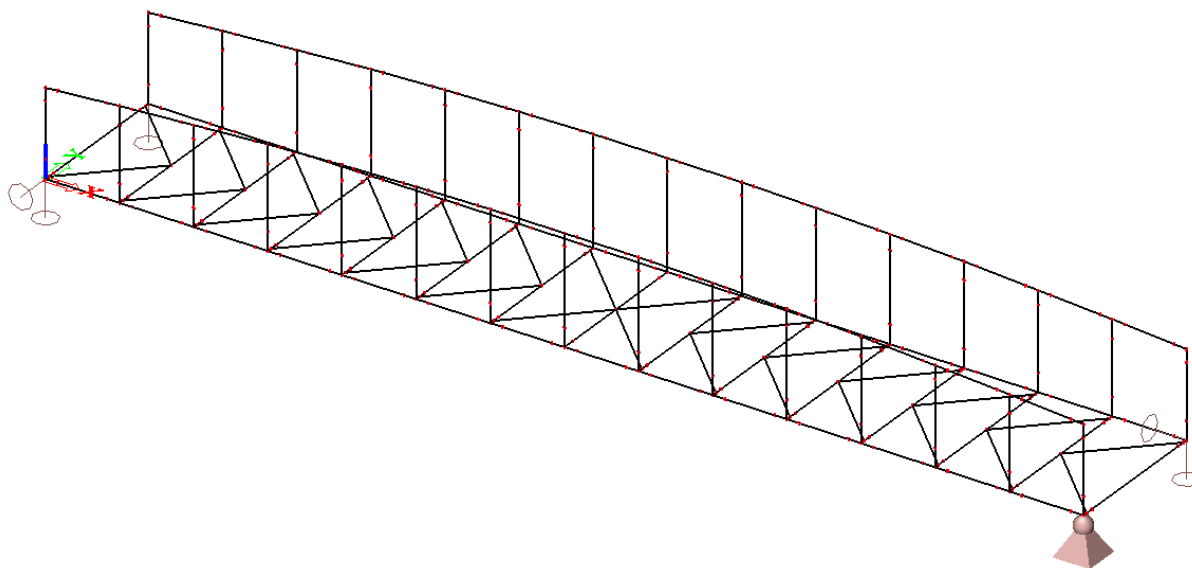
Konstrukce je modelována v programu Scia Engineer 2013.0. Všechny modelované prvky jsou zadávány jako prutové prvky (prvek, sloup, nosník).



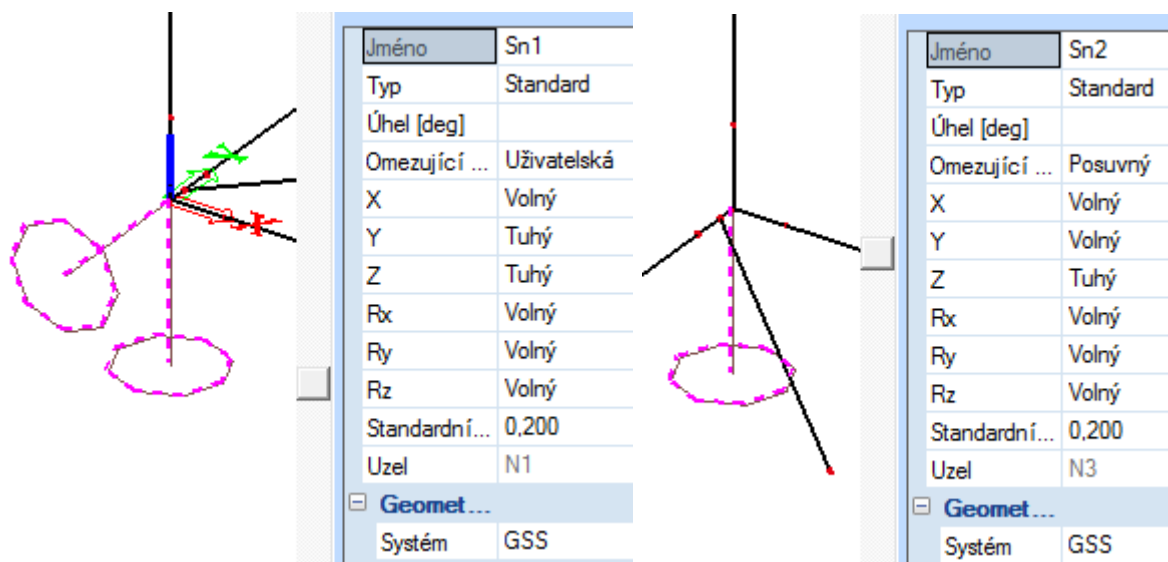
Obr. 5 Model konstrukce v programu Scia Engineer 2013.0

Označení jednotlivých prvků je tvořeno označením hlavního nosníku, ve kterém se nachází (HL1, HL2), písmeny určujícími druh prvku (DP – dolní pás, HP- horní pás, S – svislice, P – příčník a ZT – vodorovné ztužidlo, SDP – styčník dolního pasu, SHP – styčník horního pasu), číslem a případným doplňujícím označením (P- pravý, L- levý) určujícím jeho pozici na konstrukci, viz schémata modelu. Počátek souřadnicového systému je umístěn v místě podepření hlavního nosníku posuvným ložiskem.

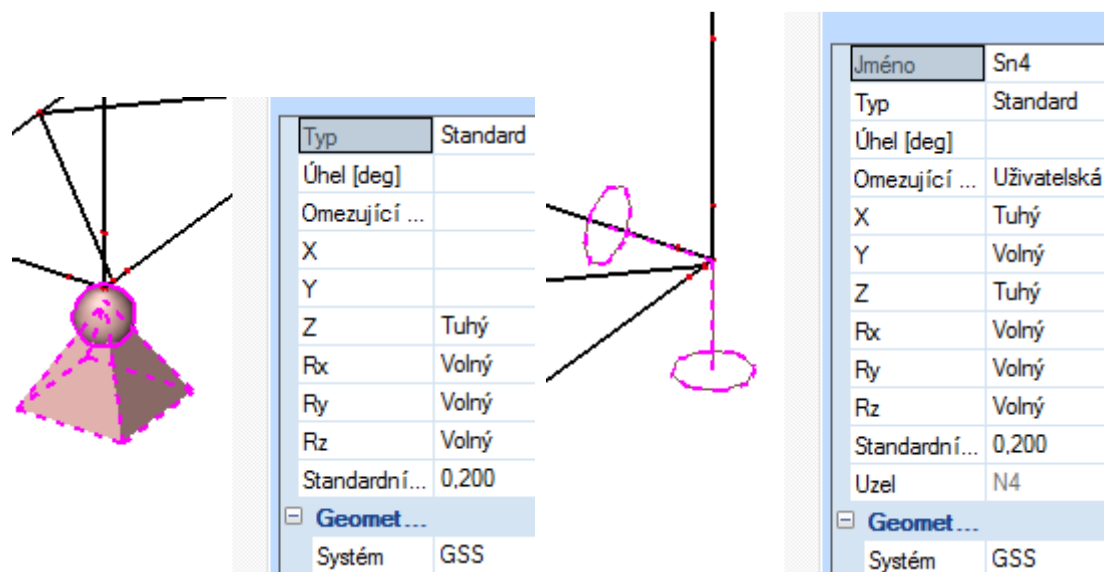
Hlavní nosníky jsou prostě podepřeny v dolních uzle svislic S1 kluznou kloubovou podporou a v dolních uzlech svislic S15 pevnou kloubovou podporou.



Obr. 6 Schéma umístění podpor hlavních nosníků

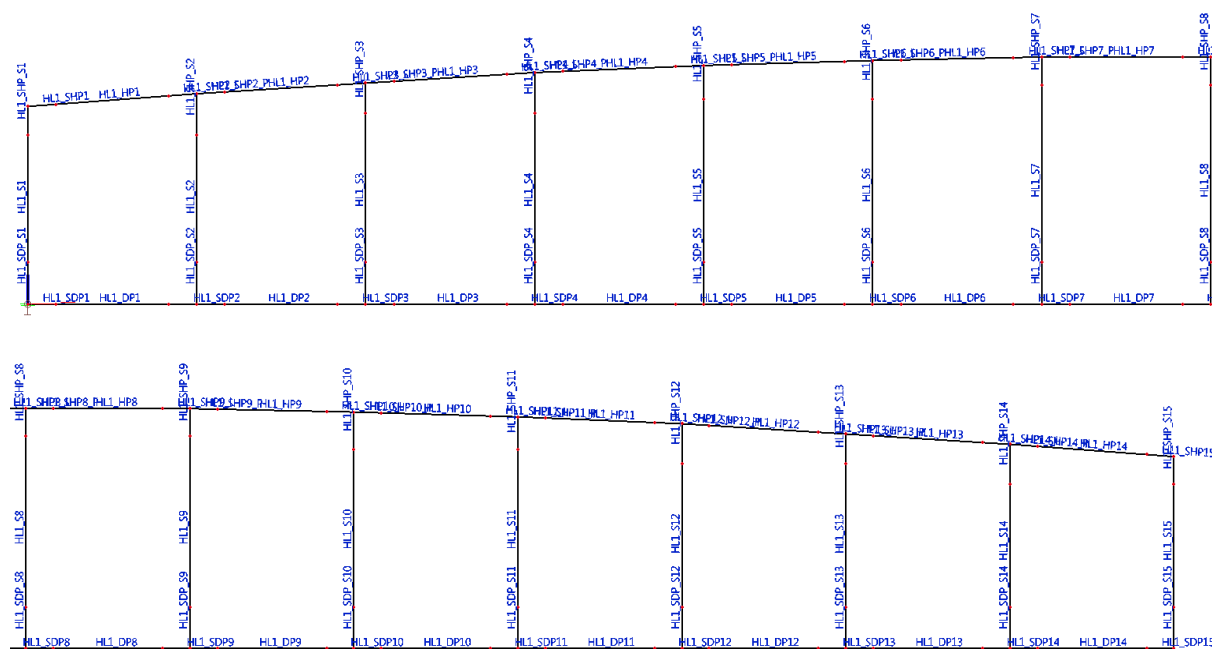


Obr. 7 schéma a nastavení kluzných kloubových podpor



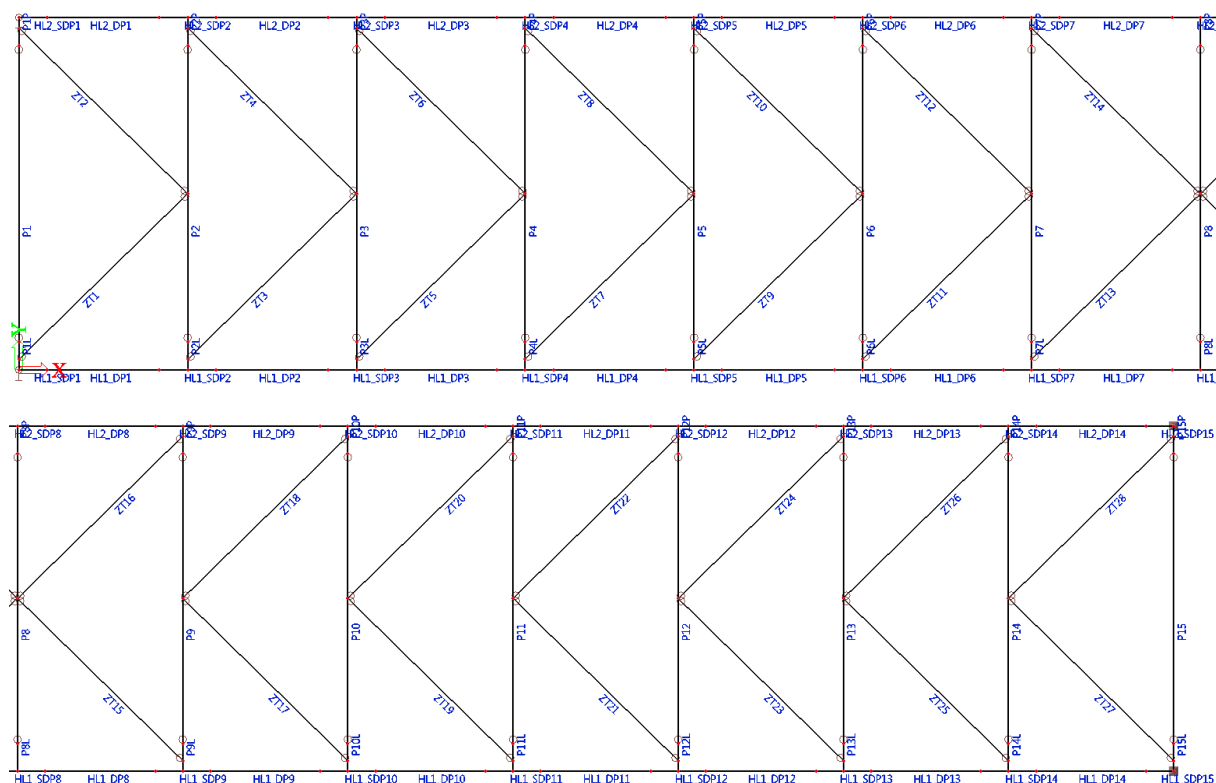
Obr. 8 Schéma a nastavení pevné kloubové podpory

Styčníky jednotlivých prvků tvořících hlavní nosník jsou modelovány tak, aby přenášely ohybové momenty, což je dáno základním nastavením projektu na obecný XYZ. Toto spojení a umístění jednotlivých prvků hlavního nosníku vytváří nosník známý pod označením vierendeelův.

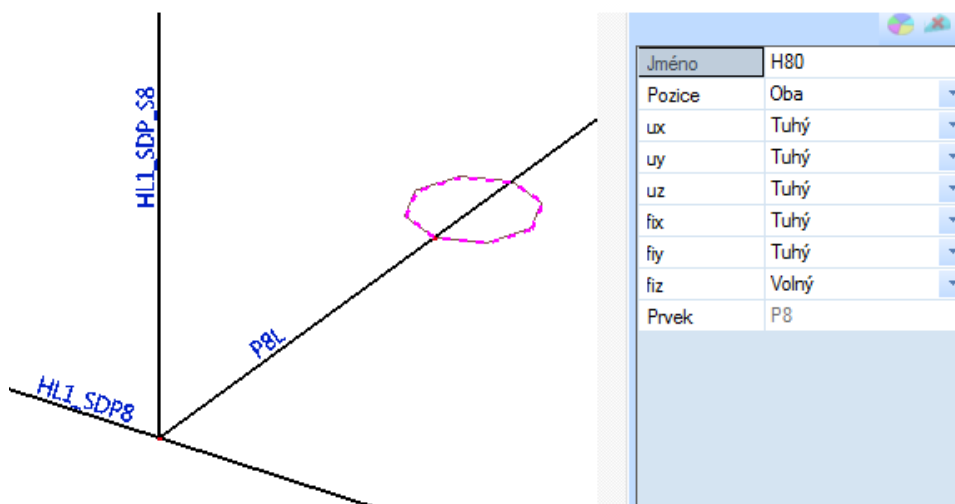


Obr. 9 Schéma označení prvků v modelu konstrukce ve Scia Engineer (pro druhý hlavní nosník je HL1 nahrazeno HL2)

Propojení hlavních nosníků je zajištěno pomocí příčníků. Příčníky jsou rozděleny na 3 části, krajní části s přívlastkem L nebo R jsou na hlavní nosník připojeny pomocí vetknutí v obou hlavních osách (svařovaný přípoj části příčníku na hlavní nosník). Připojení střední části na obě krajní části příčníku je modelováno jako vetknuté pro tuhou osu příčníku a kloubové pro měkkou osu příčníku (šroubovaný přípoj příčníku).

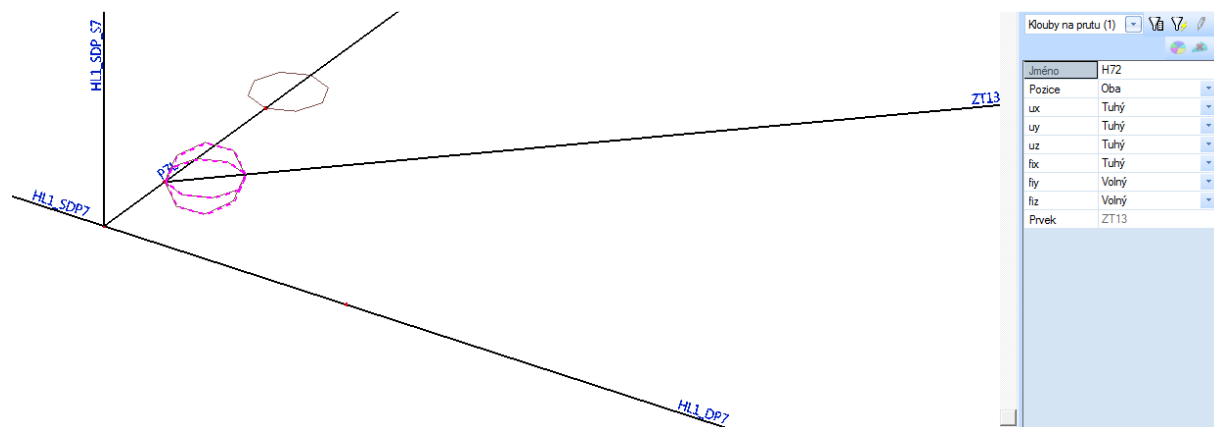


Obr. 10 Půdorysní schéma modelu konstrukce v úrovni vodorovného ztužení



Obr. 11 Schéma modelu napojení příčníků poloha vůči prvkům hlavních nosníků

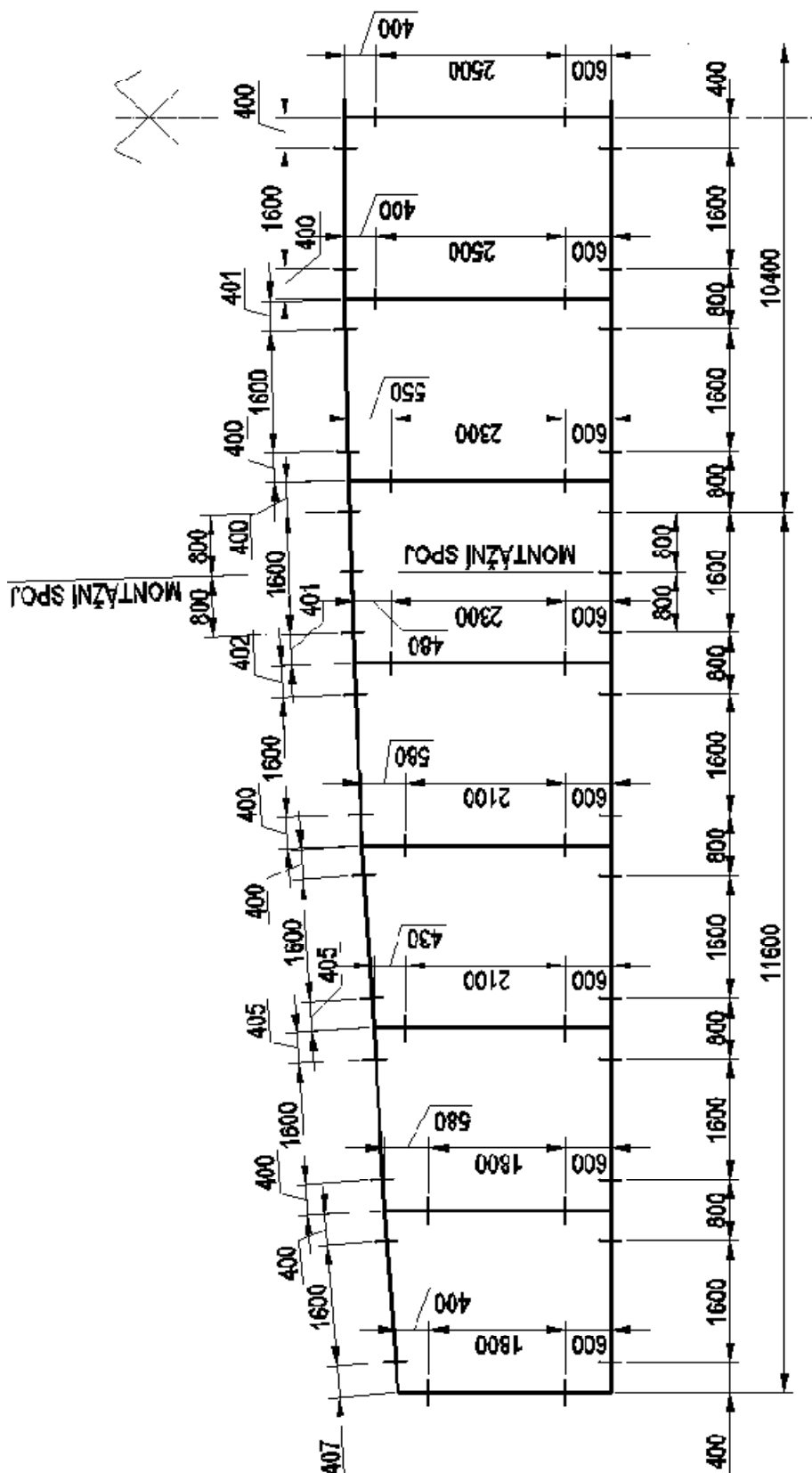
Vodorovná ztužidla jsou označena jako ZT a umístěná mezi příčníky pod mostovkou lávky, viz Obr. 10. Jsou namodelována jako prutové prvky připojené kloubově na příčník v místě průsečíku osy příčníku a stěny dolního pasu, respektive prvku styčnicku dolního pasu. Tato poloha připojení ztužidla byla volena proto, aby síly ze ztužidla byly zavedeny do přípoje krajních částí příčníku na styčnick dolního pasu hlavního nosníku a ne pouze do tohoto styčnicku, jak by tomu bylo při modelování ztužidla přímo do uzlu připojení příčníku, svislice a prutu dolního pasu.



Obr. 12 Schéma napojení vodorovného ztužidla na příčník a poloha vůči prvkům hlavních nosníků v modelu konstrukce ve Scia Engineer

Vodorovná ztužidla nahrazují svou tuhostí v modelu nemodelovanou desku mostovky. Tato deska bude zvyšovat hlavně skutečnou tuhost lávky ve vodorovném směru.

Vzpěrné délky vycházející ze statického řešení konstrukce a jsou ručně zadávány pro jednotlivé tlačené prvky, pomocí součinitele (svislíce, příčníky, vodorovná ztužidla) nebo pomocí vypočítané délky (horní pás pro vybočení kolmo k rovině hlavního nosníku), ve výpočetním programu.



**Obr. 13 Osové schéma rozdělení konstrukce na jednotlivé prvky a pozice dílenských a montážních spojů**



## 4. ZATÍŽENÍ

V této části jsou stanoveny charakteristické účinky zatížení pro řešenou konstrukci. Jednotlivé typy zatížení jsou, pro větší přehlednost, rozděleny do podkapitol a v závěru každé kapitoly, je-li to nutné, se nachází shrnutí navržených zatížení. Je zde také poukázáno na některé případy, kterým je třeba věnovat pozornost při tvorbě kombinací zatížení. Kombinace zatížení jsou popsány v kapitole 7 tohoto dokumentu.

Zatížení konstrukce lávky je stanoveno podle normy ČSN EN 1991-2 Zatížení mostů.

### 4.1 Stálá zatížení

#### 4.1.1 Vlastní tíha konstrukce

Vlastní tíha konstrukce je, pro namodelované prvky dle zvolených profilů, generována použitým výpočetním programem Scia Engineer 2013.0 a je obsažena v zatěžovacím stavu ZS1.

#### 4.1.2 Ostatní stálé zatížení

Ostatní stálé zatížení, zatížení od pevných součástí konstrukce, které nejsou modelovány, je pro jednotlivé části spočteno dle navržené geometrie. Objemové tíhy jsou převzaty z ČSN EN 1990, Příloha A, nebo podkladů od výrobce. Zatěžovací šířka v příčném řezu pro ostatní stálé zatížení je 4,5m.

Popis zatížení	Rozměr [mm]	Objemová tíha [kN/m <sup>3</sup> ]	Plošná tíha [kN/m <sup>2</sup> ]
Parkdeck asf. vrstva	15	25	0,375
ŽB deska (náhradní h)	120	25	3,0
Bednění – trapez. plech	-	-	0,2

Tabulka 1 Ostatní stálá zatížení

$$\Sigma g_k = 3,58 \text{ kN.m}^{-2}$$

Ostatní stálá zatížení jsou modelována jako plošná zatížení pomocí generátoru plošného/rovinného zatížení a jako prvky pro roznos jsou zvoleny všechny příčníky. Ostatní stálé zatížení je obsaženo v zatěžovacím stavu ZS2.

### 4.2 Proměnná zatížení

V této kapitole budou stanoveny hodnoty zatížení od provozu na řešené lávce. Uvažuje se výskyt osob  $q_{fk}$  – dav lidí, působení soustředěného zatížení  $Q_{fwk}$ , mimořádné zatížení od výskytu vozidla na lávce  $Q_{svi}$ . Hodnoty zatížení jsou stanoveny v charakteristických hodnotách. Zatěžovací šířka pro proměnná zatížení od dopravy je 4,5 m. Také je zde pamatováno na zatížení zábradlí.

Modely zatížení dle ČSN EN 1991-2 zahrnují dynamické účinky. Pokud není uvedeno jinak, veškeré odkazy u vzorců a normových hodnot v této podkapitole se odkazují na tuto normu.

Sestavy zatížení dle ČSN EN 1991-2:

$$\begin{aligned} gr1 & q_{fk} + Q_{f1k} \\ gr2 & Q_{serv} + Q_{f1k} \end{aligned}$$

$q_{fk}$ ..... charakteristická hodnota svislého rovnoměrného zatížení lávkách pro chodce

$Q_{f1k}$ ..... charakteristická hodnota vodorovné síly na lávce pro chodce

$Q_{serv}...$  model zatížení odpovídající obslužnému vozidlu pro lávky pro chodce

#### 4.2.1 Zatížení chodci

- Svislé zatížení  $q_{fk}$

$$L = 33,6 \text{ m}$$

$$q_{fk} = 2,0 + 120/(L+30) = 2,0 + 120/63,6 = 3,89 \text{ kN/m}^2 \quad [\text{dle 5.3.2.1 (5.1)}]$$

$$q_{fk} = 5,0 \text{ kN/m}^2 \quad [\text{Dav lidí dle 4.3.5 (1)}]$$

- Soustředěné zatížení  $Q_{fwk}$

$$Q_{fwk} = 10 \text{ kN} \quad [\text{dle 5.3.2.2 (1)}]$$

$$A_{fwk,0} = 0,1 * 0,1 = 0,01 \text{ m}^2$$

Pozn.: Pokud je uvažováno s mimořádným výskytem vozidla na lávce, soustředěné zatížení se neposuzuje.

- Vodorovné zatížení  $q_{flk}$ ,  $Q_{flk}$

$$q_{flk} = 0,1 * q_{fk} = 0,1 * 5,0 = 0,5 \text{ kN/m}^2 \quad [\text{dle 5.4 (2)}]$$

$$Q_{flk} = 0,1 * Q_{fwk} = 0,1 * 10 = 1,0 \text{ kN}$$

Plošné zatížení chodci je modelováno v zatěžovacím stavu ZS3. Soustředěné zatížení není pro model ve Scia Engineer modelováno, avšak je použito pro ověření návrhu mostovky.

#### 4.2.2 Mimořádný výskyt vozidla na lávce

Zatížení od mimořádného výskytu vozidla na lávce dle ČSN EN 1993-2 nebude pro návrh lávky použito. Průjezd lávkou je zabráněno na straně u silnice zábradlím. Lze uvažovat mimořádný výskyt vozidla údržby či odstraňování sněhu, avšak toto vozidlo je bráno jako vozidlo do 2,5t. Na konstrukci lávky by toto zatížení nemělo rozhodující vliv, avšak je s ním uvažováno při návrhu mostovky, viz kapitola 8 tohoto dokumentu.

#### 4.2.3 Zatížení zábradlí

Zatížení zábradlí je stanoveno podle ČSN EN 1991-2, 4.8.

Zatížení na zábradlí je bráno jako proměnné zatížení působící na horním povrchu zábradlí.

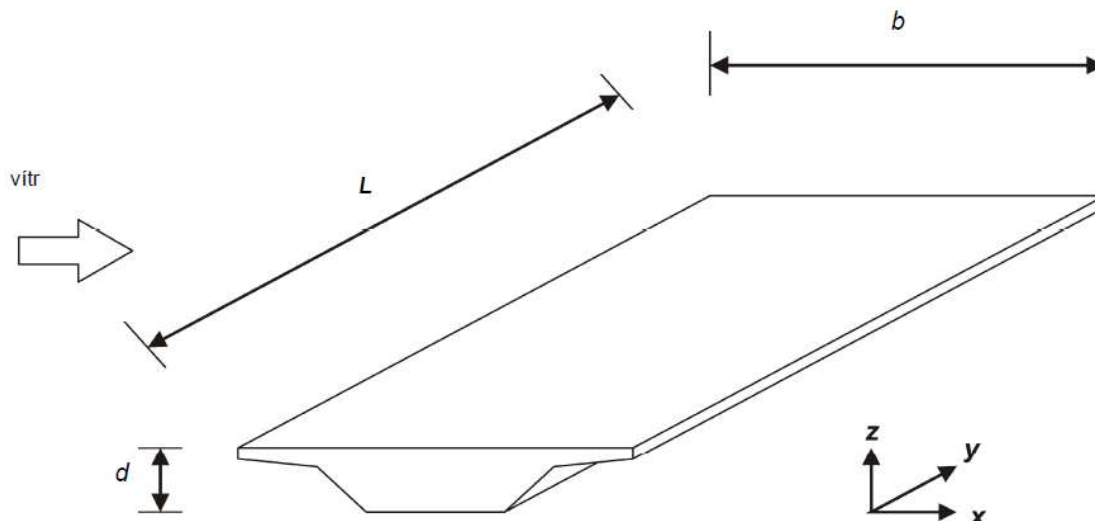
- Svislé zatížení  $q_{s,zábr,k} = 1,0 \text{ kN.m}^{-1}$

- Vodorovné zatížení  $q_{v,zábr,k} = 1,0 \text{ kN.m}^{-1}$

## 4.3 Klimatická zatížení

### 4.3.1 Zatížení větrem

ČSN EN 1991-1-4 ed. 2



Obr. 14 Schéma rozměrů lávky (převzato z ČSN EN 1991-1-4 ed. 2)

Zatížení od větru na nosnou konstrukci je stanoveno dle ČSN EN 1991-1-4 ed. 2 – pokud není uvedeno jinak, veškeré odkazy u vzorců a obrázků v této podkapitole se odkazují na tuto normu. Referenční plocha pro vítr ve směru x bude zvětšena vlivem přítomnosti osob na mostě (výška osoby 1,8 m).

- Základní rychlost větru  $v_b$

$v_{b,0} =$	větrná oblast II =	25,0	m/s
$v_b =$	$c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 25,0 =$	<u>25,0</u>	<u>m/s</u>
- Referenční výška  $z_e$

Referenční výška je rovna maximální výšce konstrukce nad běžnou hladinou překonávané řeky.

$z_e =$	7,2	m
---------	-----	---
- Kategorie terénu III

$z_0 =$	0,3	m
$z_{min} =$	5	m
- Součinitel drsnost terénu  $c_r(z)$

$z < z_0 \Rightarrow c_r(z) = c_r(z_{min})$

$c_r(z_{min}) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z_{min}}{z_0}\right) = 0,198 \cdot \ln\left(\frac{7,2}{0,3}\right) =$	<u>0,629</u>	-	[dle 4.3.2 (4.4)]
$k_r = 0,19 \cdot \left(\ln \frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0,07} = 0,19 \cdot \left(\ln \frac{0,3}{0,05}\right)^{0,07} =$	0,198	-	[dle 4.3.2 (4.5)]

- Součinitel orografie  $c_o(z)$   
 $c_o(z) = 1,0$  - [dle 4.3.3]
- Střední rychlost větru  $v_m(z)$   
 $v_m(z) = c_r(z) \cdot c_o(z) \cdot v_b = 0,629 \cdot 1,0 \cdot 25 = \underline{15,732 \text{ m.s}^{-1}}$  [dle 4.3.1 (4.3)]
- Intenzita turbulence větru  $I_v$   
 $z > z_{\min} \Rightarrow I_v(z)$   
 $I_v(z) = \frac{\sigma_v}{v_m(z)} = \frac{k_I}{c_o(z) \cdot \ln(z_{\min}/z_0)} = \frac{1,0}{1,0 \cdot \ln(7,2/0,3)} = \underline{0,315}$  - [dle 4.4 (4.7)]  
 $k_I = 1,0$  - [dle NA.2.16]
- Základní dynamický tlak větru  $q_b$   
 $q_b = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2 = \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 25^2 = \underline{390,625 \text{ Pa}}$  [dle 4.5 (4.10)]
- Maximální dynamický tlak  $q_p$   
 $q_p(z) = [1 + 7I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z) =$   
 $= (1 + 7 \cdot 0,315) \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 15,732^2 = \underline{495,765 \text{ Pa}}$  [dle 4.5 (1)]  
 $\underline{q_p(z) = 0,496 \text{ kN.m}^{-2}}$
- Součinitel konstrukce  $c_s c_d$   
Pro obvyklé hlavní nosné konstrukce mostů pozemních komunikací a železničních mostů s rozpětím menším než 40 m není nutný dynamický výpočet odezvy.  
[dle 8.2 POZNÁMKA 3]  
Jestliže není nutný dynamický výpočet odezvy lze součinitel  $c_s c_d$  brát roven 1,0.  
[dle 8.2 POZNÁMKA 2]  
 $\underline{c_s c_d = 1,0}$  -

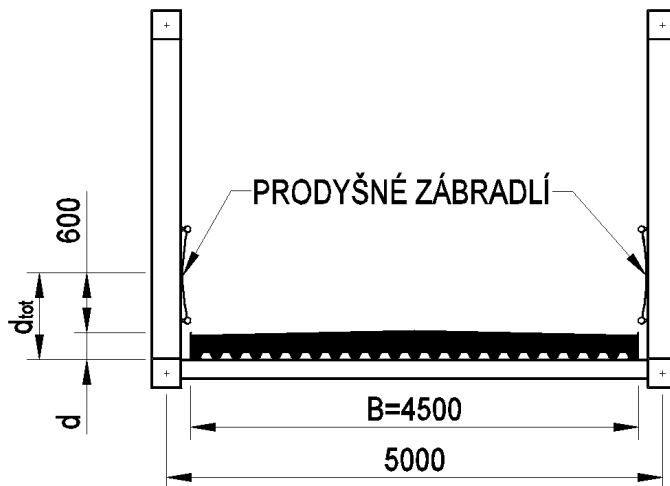
#### 4.3.1.1 Součinitel síly pro konstrukci mostovky – nezatížená lávka

- Stanovení součinitele  $c_{f,x}$

$$c_{f,x} = c_{f,x,0}$$

[dle 8.3.1 (8.1)]

$c_{f,x,0}$ ... součinitel síly bez vlivu proudění kolem volných konců



Obr. 15 Schéma pro zatížení větrem mostovky nezatížené lávky

$$b = 4,5 \text{ m}$$

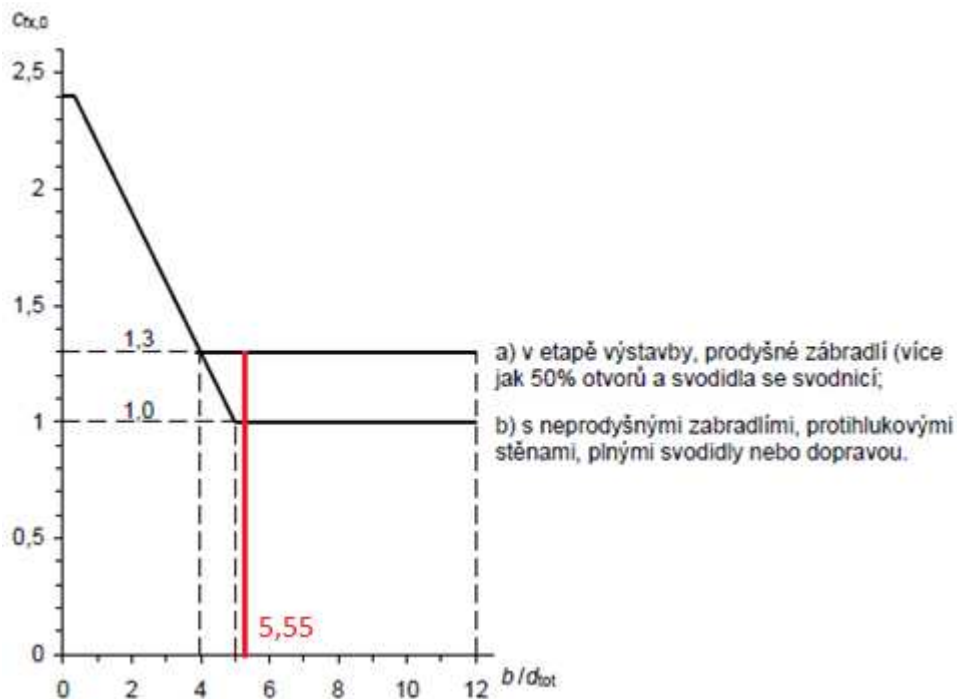
$$d = 0,210 \text{ m}$$

$$d_{\text{tot}} = d + 0,6 = 0,255 + 0,6 = 0,810 \text{ m}$$

[dle 8.3.1 Tabulka 8.1]

$$b/d_{\text{tot}} = 4,5/0,810 = 5,555 \Rightarrow c_{f,x,0} = 1,3$$

[dle 8.3.1 Obrázek 8.3]

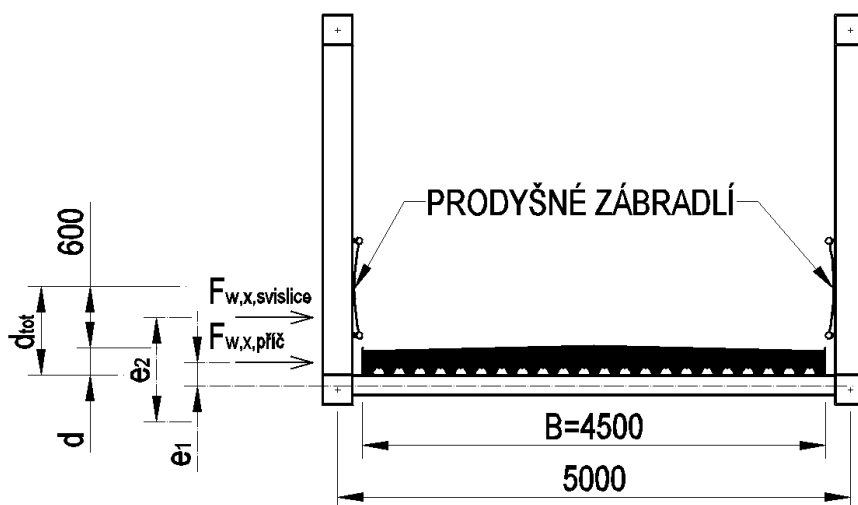


Obr. 16 Součinitel síly pro mosty  $c_{f,x,0}$  (dle Obrázek 8.3, ČSN EN 1991-1-4)

- Síly ve směru x – zjednodušená metoda

$$\begin{aligned} F_{w,x,příč} &= \frac{1}{2} \rho \cdot v_b^2 \cdot C \cdot A_{ref,x} = q_b \cdot c_e \cdot c_f \cdot A_{ref,x} = q_p(z) \cdot c_{f,x} \cdot A_{x,ref} \\ &= q_p(z) \cdot c_{f,x} \cdot A_{x,ref} = 0,496 \cdot 1,3 \cdot (2,4 \cdot 0,210) = 0,395 \text{ kN} \quad [\text{dle 8.3.2, (8.2)}] \\ &\quad (0,645 \text{ kN.m}^{-2}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_{w,x,svislíce} &= \frac{1}{2} \rho \cdot v_b^2 \cdot C \cdot A_{ref,x} = q_b \cdot c_e \cdot c_f \cdot A_{ref,x} = q_p(z) \cdot c_{f,x} \cdot A_{x,ref} \\ &= q_p(z) \cdot c_{f,x} \cdot A_{x,ref} = 0,496 \cdot 1,3 \cdot (2,4 \cdot 0,6) = 0,929 \text{ kN} \quad [\text{dle 8.3.2, (8.2)}] \\ &\quad (0,645 \text{ kN.m}^{-2}) \end{aligned}$$



Obr. 17 Schéma rozdělení sil od větru působících na mostovku na konstrukci

Zatížení je modelováno jako silové a je aplikováno na každý příčník a svislici. Na krajním příčníku nebo svislici je zatížení poloviční. Zanedbává se stínění hlavním nosníkem. Silové zatížení působí na excentricitě e, která je zadána při modelování zatížení.

$$\begin{aligned} e_1 &= 228 \text{ mm} \\ e_2 &= 625 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Síly ve směru z

$$\begin{aligned} c_{f,z} &= \pm 0,9 \quad [\text{dle 8.3.3 POZNÁMKA 1}] \\ f_{w,z} &= q_p(z) \cdot c_{f,z} = 0,496 \cdot \pm 0,9 = \pm 0,447 \text{ kN.m}^{-2} \end{aligned}$$

- Síly ve směru y

$$\begin{aligned} \text{Lze je brát jako 25\% sil ve směru x.} \quad [\text{dle 8.3.4 POZNÁMKA}] \\ f_{w,y} &= 0,25 f_{w,x} = 0,25 \cdot 0,645 = 0,162 \text{ kN.m}^{-2} \end{aligned}$$

Zatížení od větru, ve směrech y a z, jsou modelována jako plošná zatížení pomocí generátoru rovinného zatížení v programu Scia Engineer 2013.0. Zatížení je aplikováno na celou šířku mostovky B= 4,5 m a na celou délku lávky.

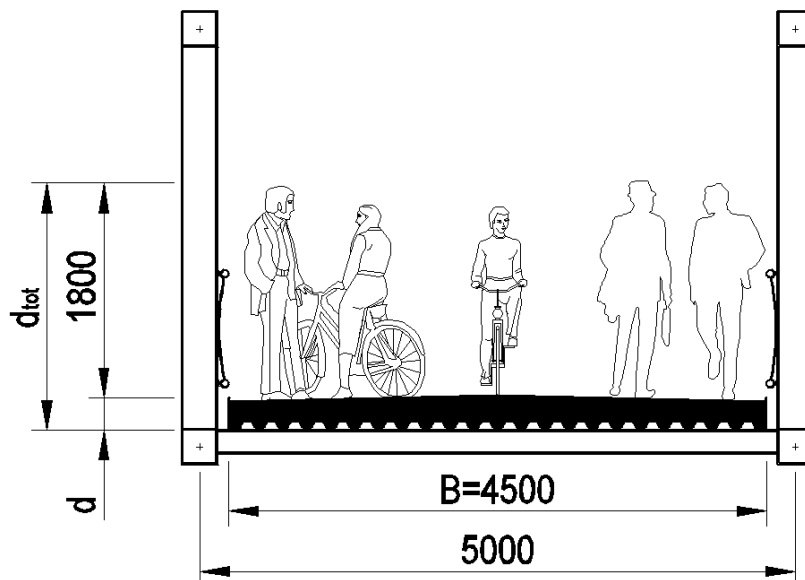
### 9.3.1.2 Součinitel síly pro konstrukci mostovky – zatížená lávka

- Stanovení součinitele  $c_{f,x}$

$$c_{f,x} = c_{f,x,0}$$

[dle 8.3.1 (8.1)]

$c_{f,x,0}$ .... součinitel síly bez vlivu proudění kolem volných konců



Obr. 18 Schéma pro zatížení větrem na zatíženou lávku

$$b = 4,5 \text{ m}$$

$$d = 0,210 \text{ m}$$

$$d_{\text{tot}} = d + 1,8 = 0,21 + 1,8 = 2,01 \text{ m}$$

$$b/d_{\text{tot}} = 3,72/2,01 = 1,85 \Rightarrow c_{f,x,0} = 2,0 \quad \text{[dle 8.3.1 Obrázek 8.3]}$$

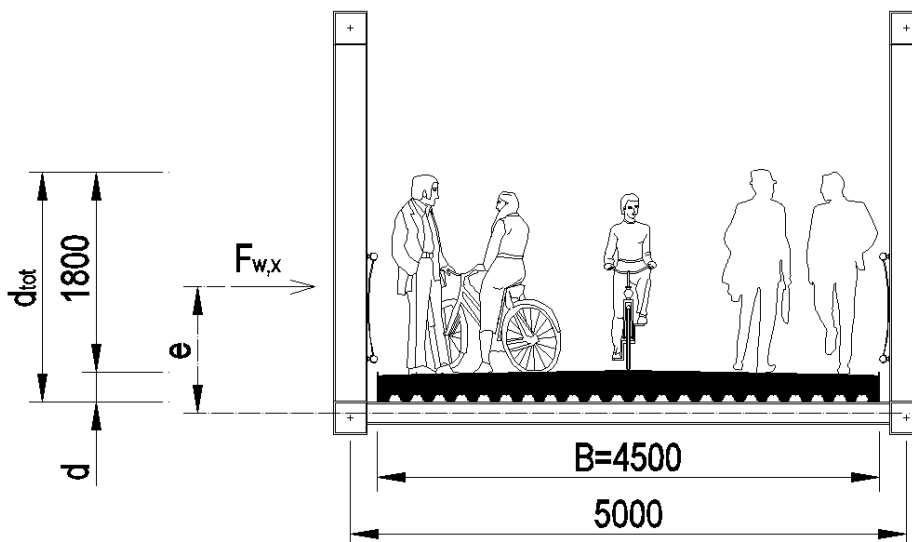


Obr. 19 Součinitel síly pro mosty  $c_{f,x,0}$  (dle Obrázek 8.3, ČSN EN 1991-1-4)

- Síly ve směru x – zjednodušená metoda

$$F_{w,x} = \frac{1}{2} \rho \cdot v_b^2 \cdot C \cdot A_{ref,x} = q_b \cdot c_e \cdot c_f \cdot A_{ref,x} = q_p(z) \cdot c_{f,x} \cdot A_{x,ref} \quad [\text{dle 8.3.2, (8.2)}]$$

$$= q_p(z) \cdot c_{f,x} \cdot A_{x,ref} = 0,496 \cdot 2,0 \cdot (2,4 \cdot 2,01) = 4,905 \text{ kN} \quad (0,992 \text{ kN.m}^{-2})$$



Obr. 20 Schéma umístění síly od větru působícího na zatíženou mostovku

Zatížení je modelováno jako silové a je aplikováno na každý příčník, proto  $A_{ref,x} = 2,4 \cdot 2,09$ ). Na krajním příčníku je zatížení poloviční. Zanedbává se stínění hlavním nosníkem. Silové zatížení působí na excentricitě  $e$ , která je zadána při modelování zatížení. Zanedbává se podíl síly od větru působící na zábradlí a veškerá síla je přenášena příčníkem.

$$e = 1130 \text{ mm}$$

- Síly ve směru z

$$c_{f,z} = \pm 0,9 \quad [\text{dle 8.3.3 POZNÁMKA 1}]$$

$$f_{w,z} = q_p(z) \cdot c_{f,z} = 0,496 \cdot \pm 0,9 = \pm 0,447 \text{ kN.m}^{-2}$$

- Síly ve směru y

Lze je brát jako 25% sil ve směru x. [dle 8.3.4 POZNÁMKA]

$$f_{w,y} = 0,25 f_{w,x} = 0,25 \cdot 0,992 = 0,248 \text{ kN.m}^{-2}$$

Zatížení od větru, ve směrech y a z, jsou modelována jako plošná zatížení pomocí generátoru rovinného zatížení v programu Scia Engineer 2013.0. Zatížení je aplikováno na celou šířku mostovky  $B = 4,5 \text{ m}$  a na celou délku lávky.



#### 4.3.1.3 Součinitel síly nosné prvky s obdélníkovými průřezy

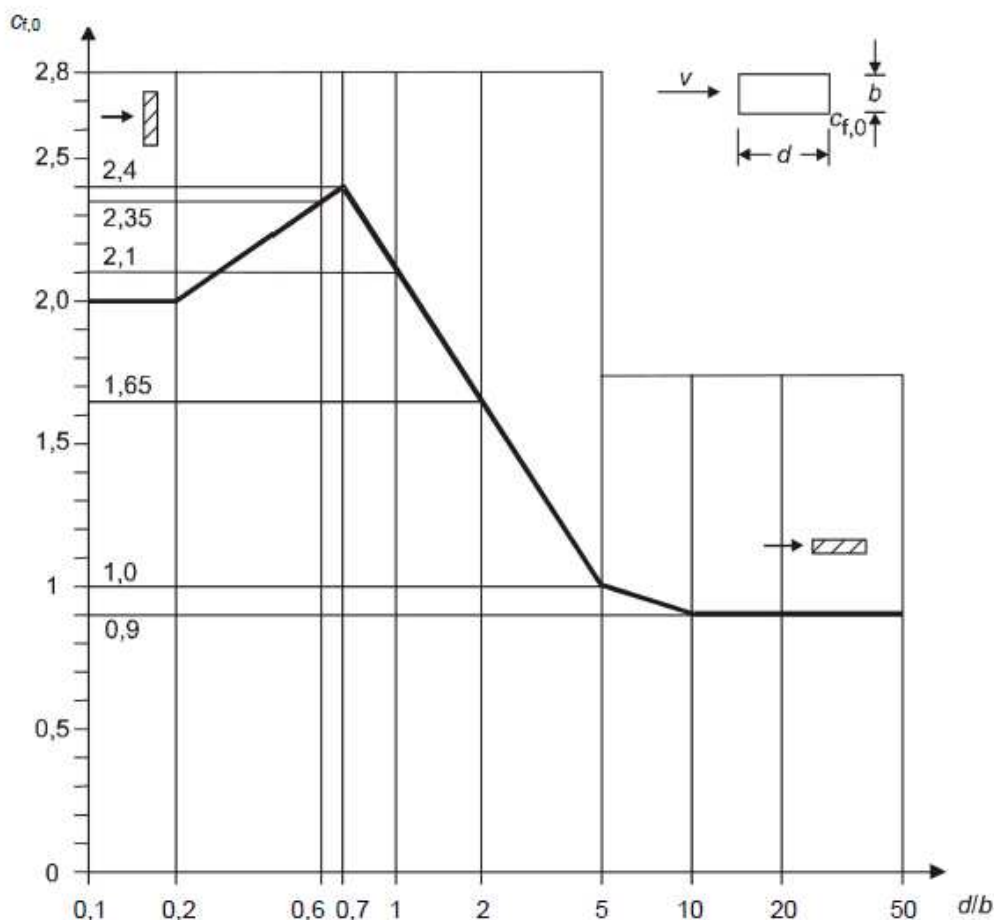
Popis stanovení součinitelů sil pro jednotlivé části hlavních nosníků.

$$c_f = c_{f,0} \cdot \psi_r \cdot \psi_\lambda \quad [\text{dle 7.6, (7.9)}]$$

$c_{f,0}$  ... součinitel síly pro obdélníkové průřezy s ostrými rohy a bez uvažování vlivu koncových vírů (stanovení podle Obrázek 7.23)

$\psi_r$  ... redukční součinitel pro čtvercové průřezy se zaoblenými rohy (pro navržené profily neaplikujeme,  $\psi_r = 1$ )

$\psi_\lambda$  ... součinitel koncového efektu pro prvky s volnými konci ( $\psi_\lambda = 1,0$ )



Obr. 21 Diagram pro stanovení součinitele síly pro obdélníkové průřezy s ostrými rohy  $c_{f,0}$   
(převzat z normy ČSN EN 1991-1-4, 7.6, Obrázek 7.23)

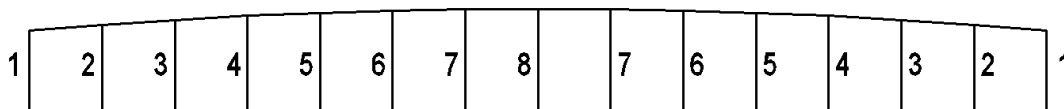
Síly ve směru x – zjednodušená metoda

$$F_{w,x} = \frac{1}{2} \rho \cdot v_b^2 \cdot C \cdot A_{ref,x} = q_b \cdot c_e \cdot c_f \cdot A_{ref,x} = q_p(z) \cdot c_f \cdot A_{x,ref} \quad [\text{dle 8.3.2, (8.2)}]$$

Hodnoty součinitelů sil pro jednotlivé prvky hlavních nosníků jsou stanoveny v následující tabulce. Zatížení je modelováno jako liniové zatížení na délce prvku L. Ve výše uvedeném vzorci je  $A_{ref,x}$  nahrazena pouze rozměrem průřezu kolmým ke směru větru b, takto při výpočtu vyjde hodnota pro modelované liniové zatížení.

Popis prvku	b [mm]	d [mm]	d/b	$c_f$ [-]	$q_p(z)$ [kN.m <sup>-2</sup> ]	$f_{w,k}$ [kN.m <sup>-2</sup> ]	$f_{w,k}$ [kN.m <sup>-1</sup> ]
Spodní pás	300	300	1,000	2,100	0,496	1,042	<b>0,312</b>
Horní pás	300		1,000	2,100		1,042	<b>0,312</b>
Svislice 1	300		1,000	2,100		1,042	<b>0,312</b>
Svislice 2	300		1,000	2,100		1,042	<b>0,312</b>
Svislice 3	300		1,000	2,100		1,042	<b>0,312</b>
Svislice 4	250		1,200	2,010		0,997	<b>0,249</b>
Svislice 5	250		1,200	2,010		0,997	<b>0,249</b>
Svislice 6	250		1,200	2,010		0,997	<b>0,249</b>
Svislice 7	250		1,200	2,010		0,997	<b>0,249</b>
Svislice 8	250		1,200	2,010		0,997	<b>0,249</b>

Tabulka 2 Výpočet liniových zatížení větrem pro prvky hlavních nosníků



Obr. 22 Schéma číslování svislic

#### 4.3.2 Zatížení teplotou

Zatížení teplotou je určeno dle ČSN EN 1991-1-5 a veškeré odkazy v této kapitole se vztahují k této normě, pokud není udáno jinak.

Nosná konstrukce lávky je zařazena jako typ 1 – ocelová nosná konstrukce

- Minimální a maximální teplota vzduchu ve stínu  $T_{\min}$ ,  $T_{\max}$

$T_{\min}$  a  $T_{\max}$  jsou určeny z map minimálních a maximálních teplot vzduchu ve stínu, které jsou součástí národní přílohy normy ČSN EN 1991-1-5 jako Obrázek NA.1 a Obrázek NA.2.

$$T_{\min} = -34,0 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\max} = 36,0 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

- Minimální a maximální rovnoměrná složka teploty mostu  $T_{e,\min}$ ,  $T_{e,\max}$

$$T_{e,\min} = T_{\min} - 3,0 \text{ }^{\circ}\text{C} = -34 - 3,0 = -37,0 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_{e,\max} = T_{\max} + 16,0 \text{ }^{\circ}\text{C} = 36 + 16,0 = +52,0 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad [\text{dle NA.2.4}]$$

- Výchozí teplota  $T_0$

$$T_0 = +10,0 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad [\text{dle NA.2.21}]$$

- Charakteristická hodnota maximálního rozsahu rovnoměrné složky teploty pro výpočet zkrácení lávky  $\Delta T_{N,\text{con}}$

$$\Delta T_{N,\text{con}} = T_0 - T_{e,\min} = 10 + 37,0 = 47,0 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad [\text{dle 6.1.3.3 (6.1)}]$$

- Charakteristická hodnota maximálního rozsahu rovnoměrné složky teploty pro výpočet prodloužení lávky  $\Delta T_{N,\text{exp}}$

$$\Delta T_{N,\text{exp}} = T_{e,\max} - T_0 = 52 - 10 = 42 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad [\text{dle 6.1.3.3 (6.2)}]$$

- Celkový rozsah rovnoměrné složky teploty lávky  $\Delta T_N$

$$\Delta T_N = T_{e,\max} - T_{e,\min} = 52 + 37 = 89 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad [\text{dle 6.1.3.3 POZNÁMKA 1}]$$

- Lineární rozdílové složky teploty (postup 1)

$$\Delta T_{M,\text{heat}} = [\text{horní povrch teplejší než spodní}] \quad 18 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta T_{M,\text{cool}} = [\text{dolní povrch teplejší než horní}] \quad 13 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad [\text{dle Tabulka 6.1}]$$

Zatížení teplotou je obsaženo v zatěžovacích stavech ZS8, rovnoměrná složka, a ZS9, lineární složka.

### 4.3.3 Zatížení námrazou

Zatížení námrazou je navrženo podle normy ČSN ISO 12494 a veškeré odkazy na kapitoly a výrazy v této kapitole se vztahují k této normě, není-li dáno jinak.

#### 4.3.3.1 Stanovení třídy námrazy a zatížení

Konstrukce se nachází na území, které spadá do třídy námraz R3, podle mapy tříd námraz pro území České republiky, podle národní přílohy výše uvedené normy, Obrázek NA.1.

Třída námrazy	R3
Hmotnost námrazy $m_k$ [ $\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}$ ]	1,6

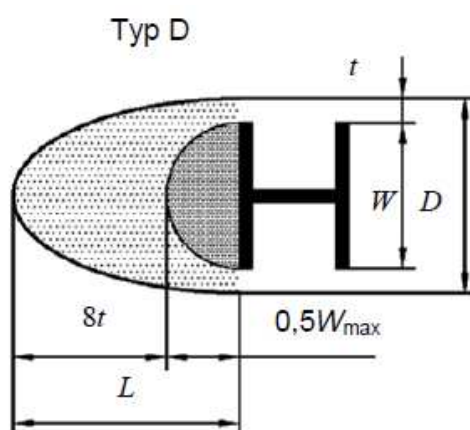
Tabulka 3 Hmotnost námrazy pro určenou třídu námrazy

Objemová hmotnost námrazy  $\gamma = 500 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ .

#### 4.3.3.2 Zvětšení plochy průřezu od námrazy

Tvorba námrazy na průřezu a její hromadění zvětšuje rozměr profilu, na který působí zatížení od větru a mění také jeho chování při obtékání větrem.

Podle profilu řešeného prvku je nutno stanovit typ modelu narůstání námrazy. Pro hlavní nosník řešené konstrukce se jedná o typ D.



Obr. 23 Typ průřezu a jeho model narůstání námrazy  
(převzato z ČSN ISO 12494, Obrázek 4)

Pro dané třídy námrazy, typy modelů narůstání námrazy, objemovou hmotnost námrazy a rozměr posuzovaného prvku jsou v normě zpracované tabulky určující hodnoty geometrie modelu narůstání námrazy zobrazeného výše na Obr. 9 tohoto dokumentu. Pokud nelze v tabulkách najít požadované údaje, je třeba provést výpočet těchto rozměrů pomocí přílohy A normy ČSN ISO 12494.

Tvary průřezů typů C a D									
Šířka profilu [mm]		10		30		100		300	
IC	Hmotnost námrazy <i>m</i> [kg/m]	Rozměry námrazy [mm]							
		<i>L</i>	<i>D</i>	<i>L</i>	<i>D</i>	<i>L</i>	<i>D</i>	<i>L</i>	<i>D</i>
R1	0,5	56	23	36	35	13	100	4	300
R2	0,9	80	29	57	40	23	100	8	300
R3	1,6	11	37	86	48	41	100	14	300
R4	2,8	152	47	124	57	68	105	24	300
R5	5,0	209	61	179	71	111	115	42	300
R6	8,9	284	80	253	90	173	131	76	300
R7	16,0	387	105	355	115	265	154	136	300
R8	28,0	517	138	484	147	387	184	224	318
R9	50,0	696	183	663	192	560	227	361	353
R10	Používá se pro extrémní námrazy								

Obr. 24 Tabulka rozměrů pro typ průřezu C a D a objemovou hmotnost  $500 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ , pro prvky o šířce  $\leq 300 \text{ mm}$   
(Převzato z ČSN ISO 12494, Tabulka 6)

Použité vztahy pro stanovení hodnot rozměrů uvedených na obrázku výše, viz PŘÍLOHA A normy.

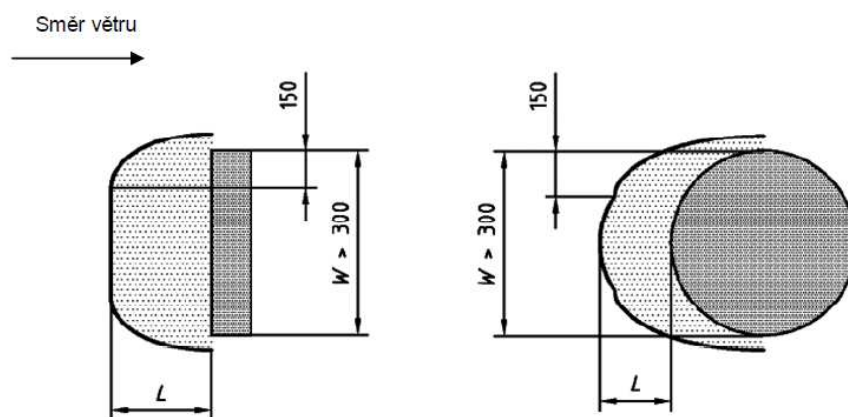
pro  $L \leq W/2$ :  $L = \frac{4 \cdot 10^6 m}{\pi \gamma W}$  [mm] [dle (A.6)]

pro  $L > W/2$ :  $L = \frac{W}{2} + 8t$  [mm] [dle (A.7)]

$$t = \frac{1}{32} \left\{ -9W + \left[ 49W^2 + 8,149 \cdot 10^7 \frac{m}{\gamma} \right]^{0,5} \right\} \text{ [mm] [dle (A.9)]}$$

kde:  
 $m$  ... hmotnost námrazy podle jejího zatřídění do tříd námraz [ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-1}$ ]  
 $\gamma$  ... objemová hmotnost námrazy [ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ]  
 $W, L, t$  ... rozměry podle Obr. 9 tohoto dokumentu [mm]

Pro prvky o šířce  $W$  větší než  $300 \text{ mm}$  je třeba upravit modely narůstání námrazy a také hmotnosti námrazy.



Obr. 25 Model námrazy u prvků o šířce větší než  $300 \text{ mm}$  ( $0,3 - 5,0 \text{ m}$ )  
(převzato z normy ČSN ISO 12494, Obrázek 5)

Velké ploché prvky							
Šířka prvku [mm]		300	500	1000	3000	5000	
IC	Hmotnost námrazy	Délka zaoblení námrazy $L$ [mm] a hmotnost námrazy $m$ [kg/m]					
	$m$ [kg/m]	$L$	$m$	$m$	$m$	$m$	$m$
R1	0,5	4	0,5	0,9	2,0	6,2	10,5
R2	0,9	8	0,9	1,7	3,6	11,2	18,9
R3	1,6	14	1,6	3,0	6,4	19,9	33,5
R4	2,8	24	2,8	5,2	11,1	34,9	58,7
R5	5,0	42	5,0	9,2	19,9	62,3	105
R6	8,9	76	8,9	16,5	35,3	111	186
R7	16,0	136	16,0	29,6	63,5	199	335
R8	28,0	224	28,0	50,4	106	330	554
R9	50,0	361	50,0	86,1	176	537	898
R10	Používá se pro extrémní námrazy						

Obr. 26 Tabulka rozměrů pro typ průřezu C a D a objemovou hmotnost  $500 \text{ kg.m}^{-3}$ , pro prvky o šířce  $> 300 \text{ mm}$  (Převzato z ČSN ISO 12494, Tabulka 8)

Použité vztahy pro stanovení hodnot rozměrů uvedených na obrázku výše, viz PŘÍLOHA A normy.

Délka zaoblení námrazy:  $L = \frac{4 \cdot 10^6 m}{\pi \gamma W}$  [mm] [dle (A.6)]  
ve výše uvedeném vzorci  $W = 300 \text{ mm}$  pro šířky  $> 300 \text{ mm}$

Hmotnost námrazy pro  
 $W > 300 \text{ mm}$ :  $m_w = m + (W - 300)L\gamma \cdot 10^{-6}$  [kg/m] [dle (A.14)]

kde:  $m$  ... hmotnost námrazy podle jejího zatřídění do tříd námraz [ $\text{kg.m}^{-1}$ ]  
 $\gamma$  ... objemová hmotnost námrazy [ $\text{kg.m}^{-3}$ ]

#### 4.3.3.3 Stanovení součinitele odporu $c_i$ pro prvek pokrytý námrazou

Součinitel  $c_i$  se nazývá součinitel aerodynamického odporu a určuje se pomocí součinitele aerodynamického odporu  $c_o$ , což je vlastně součinitel odporu  $c_f$  stanovený pro výpočet zatížení větrem bez námrazy a nazývaný součinitel síly.

Součinitel odporu pro námrazu se určí podle kapitoly 8.2.3 normy. Doporučené hodnoty jsou viditelné na následujícím obrázku.

Šířka prvku [m]	Součinitele $C_i$ pro velké prvky s námrazou						
	Součinitele odporu bez námrazy, $C_0$						
	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00
$\leq 0,3$	0,87	1,03	1,20	1,37	1,53	1,70	1,87
0,5	0,85	1,02	1,19	1,36	1,53	1,70	1,87
1,0	0,81	0,99	1,17	1,35	1,53	1,71	1,89
1,5	0,77	0,96	1,15	1,34	1,52	1,71	1,90
2,0	0,73	0,93	1,13	1,32	1,52	1,72	1,91
2,5	0,70	0,90	1,11	1,31	1,52	1,72	1,93
3,0	0,66	0,87	1,09	1,30	1,51	1,73	1,94
4,0	0,58	0,81	1,04	1,27	1,51	1,74	1,97
$\geq 5,0$	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00

Obr. 27 Doporučené hodnoty součinitele  $c_i$  pro prvky s námrazou, třída námrazy ICR3  
(Převzato z normy ČSN ISO 12494, Tabulka 19)

Použité vztahy pro stanovení hodnot rozměrů uvedených na obrázku výše, viz PŘÍLOHA A normy.

Součinitel  $c_i$ : 
$$c_i = c_{0,3} - \left( \frac{c_{0,3} - c_0}{4,7} \right) (W - 0,3)$$

kde:  $c_{0,3}$  ... hodnota pro  $W = 0,3$  m pro příslušnou třídu námrazy z tabulky 16 normy  
 $c_0$  ... součinitel odporu/součinitel síly stanovený pro prvek bez námrazy při stanovení účinků zatížení větrem na prvek

IC	Hmotnost námrazy $m$ [kg/m]	Součinitele $C_i$ pro tyče s námrazou						
		Součinitel odporu bez námrazy, $C_0$						
		0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00
R1	0,5	0,62	0,84	1,07	1,29	1,51	1,73	1,96
R2	0,9	0,74	0,94	1,13	1,33	1,52	1,72	1,91
R3	1,6	0,87	1,03	1,20	1,37	1,53	1,70	1,87
R4	2,8	0,99	1,13	1,27	1,41	1,54	1,68	1,82
R5	5,0	1,11	1,22	1,33	1,44	1,56	1,67	1,78
R6	8,9	1,23	1,32	1,40	1,48	1,57	1,65	1,73
R7	16,0	1,36	1,41	1,47	1,52	1,58	1,63	1,69
R8	28,0	1,48	1,51	1,53	1,56	1,59	1,62	1,64
R9	50,0	1,60	1,60	1,60	1,60	1,60	1,60	1,60
R10	Používá se pro extrémní námrazu							

Obr. 28 Tabulka pro určení hodnoty  $c_{0,3}$  (převzato z ČSN ISO 12494, Tabulka 16)

$$c_{0,3} = c_0 - \left( \frac{c_0 - 1,6}{9} \right) x \quad [\text{dle (A.18)}]$$

kde  $c_{0,3}$  ... hodnota součinitele  $c_i$  pro prvky o šířce menší než 300 mm

- $c_0$  ... součinitel síly pro daný prvek stanovený pro konstrukci bez námrazy (viz zatížení větrem)  
 $X$  ... hodnota pro třídu námrazy ICRX, v našem případě ICR3  $\Rightarrow X=3$

Stanovení hmotnosti námrazy  $m_w$  a součinitele aerodynamického odporu  $c_i$  je provedeno v následující tabulce dle postupů popsanych v podkapitolách o námraze výše.

Popis prvku	W [mm]	m [kg/m]	L [mm]	$m_w$ [kg/m]	$c_0=c_{f,x}$	$c_{0,3}$	$c_i$
Spodní pás	300	1,6	14	1,60	2,100	1,933	1,933
Horní pás	300		14	1,60	2,100	1,933	1,933
Svislice 1	300		14	1,60	2,100	1,933	1,933
Svislice 2	300		14	1,60	2,100	1,933	1,933
Svislice 3	300		14	1,60	2,100	1,933	1,933
Svislice 4	250		16	1,60	2,010	1,873	1,873
Svislice 5	250		16	1,60	2,010	1,873	1,873
Svislice 6	250		16	1,60	2,010	1,873	1,873
Svislice 7	250		16	1,60	2,010	1,873	1,873
Svislice 8	250		16	1,60	2,010	1,873	1,873

Tabulka 4 Hodnoty hmotností námrazy a součinitelů odporu pro jednotlivé prvky konstrukce

Pro danou třídu námrazy a rozměry prvku nedochází ke zvětšení profilu namáhaného zatížením od větru, pouze ke změně součinitele odporu. Zatížení námrazou se používá v kombinaci se zatížením větrem a stálým zatížením. Vlivem námrazy nedochází ke zvýšení zatížení větrem, protože se nezvýší plocha profilu vlivem námrazy. Dochází pouze k přitížení vlivem hmotnosti námrazy. Toto přitížení je zanedbatelné, a proto nebude zatížení námrazou modelováno.

#### 4.4 Zatížení lávky na únavu

Podle ČSN EN 1993-2, 9.1.1 (2) nevyžadují lávky pro chodce posouzení na únavu, pokud jsou brány jako převážně staticky zatížené konstrukce, což lze u této konstrukce předpokládat.



## 5. ZATĚŽOVACÍ STAVY

Dále popsané zatěžovací stavy jsou modelovány v programu Scia Engineer 2013.0. Zatěžovací stavy jsou zde i ve výpočetním programu popsány stejně a namodelovány podle popisu uvedeného v této kapitole. Při tvorbě zatěžovacích stavů je dbáno na zahrnutí všech možností působení zatížení a na usnadnění tvorby kombinací zatížení v kapitole 7.

Veškeré zatížení určené v kapitole 4 je obsaženo v zatěžovacích stavech popsaných v následující tabulce.

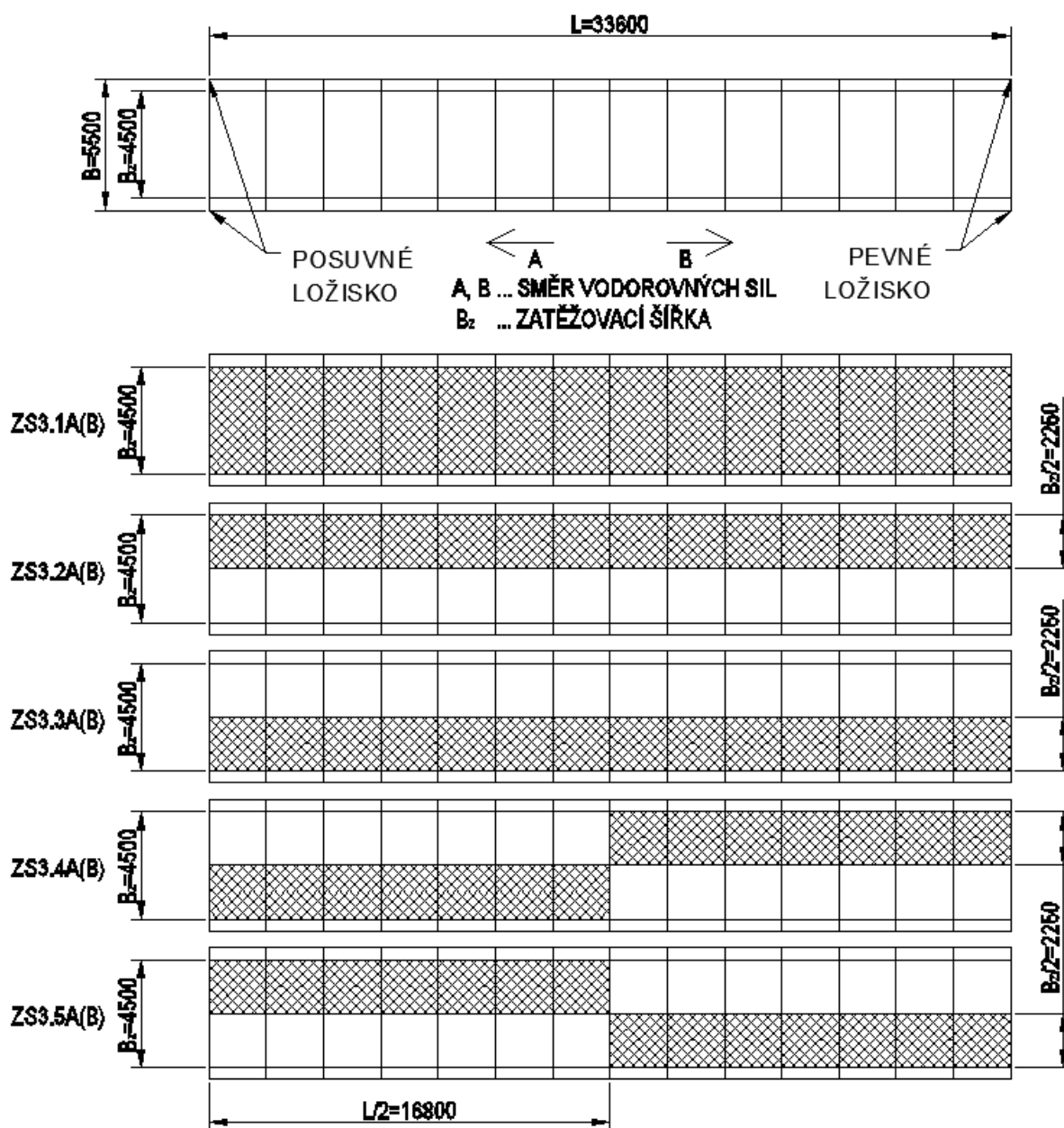
OZNAČENÍ	NÁZEV	POPIS	ZNAČ.	SK.	SCHÉMA
ZS1	STÁLÉ ZATÍŽENÍ	ZATÍŽENÍ OD VLASTNÍ TÍHY MODELOVANÉ KONSTRUKCE, GENERUJE VÝPOČETNÍ PROGRAM DLE ZADANÝCH PROFILŮ PRVKŮ V MODELU	$g_k, G_k$	SPOLEČNĚ	
ZS2	OSTATNÍ STÁLÉ ZATÍŽENÍ	STÁLÉ ZATÍŽENÍ OD ČÁSTÍ KONSTRUKCE, KTERÁ NENÍ NAMODELOVÁNA V MODELU VÝPOČETNÍHO PROGRAMU - ŽELEZOBETONOVÁ DESKA MOSTOVKY, POCHOZÍ VRSTVA	$g_k, G_k$		
ZS3	ZS3.1A(B)	PROMĚNNÉ ZATÍŽENÍ CHODCI - DAV LIDÍ	$q_k, q_{filk}$	VÝBĚR	Obr. 29
	ZS3.2A(B)				
	ZS3.3A(B)				
	ZS3.4A(B)				
	ZS3.5A(B)				
ZS4	ZS4.1	PROMĚNNÉ KLIMATICKÉ ZATÍŽENÍ VĚTREM NA ZATÍŽENOU LÁVKU	$F_{w,xj}; f_{w,kj}; f_{w,zj}; f_{w,y}$	VÝBĚR	Obr. 30 Tabulka 6
	ZS4.2				
	ZS4.3				
	ZS4.4				
	ZS4.5				
	ZS4.6				
	ZS4.7				
	ZS4.8				
ZS5	ZS5.1	PROMĚNNÉ KLIMATICKÉ NEZATÍŽENÍ VĚTREM NA NEZATÍŽENOU LÁVKU	$F_{w,xj}; f_{w,kj}; f_{w,zj}; f_{w,y}$	VÝBĚR	Obr. 30 Tabulka 7
	ZS5.2				
	ZS5.3				
	ZS5.4				
	ZS5.5				
	ZS5.6				
	ZS5.7				
	ZS5.8				

ZS6	ZS6.1	KLIMATICKÉ ZATÍŽENÍ TEPLOTOU	ROVNOMĚRNÁ SLOŽKA - PRODLOUŽENÍ	$\Delta T_{N,exp}$	VÝBĚR
	ZS6.2		ROVNOMĚRNÁ SLOŽKA - ZKRÁCENÍ	$\Delta T_{N,con}$	
ZS7	ZS7.3		LINEÁRNÍ SLOŽKA - HORNÍ TEPLEJŠÍ	$\Delta T_{M,heat}$	
	ZS7.4		LINEÁRNÍ SLOŽKA - DOLNÍ TEPLEJŠÍ	$\Delta T_{M,cool}$	

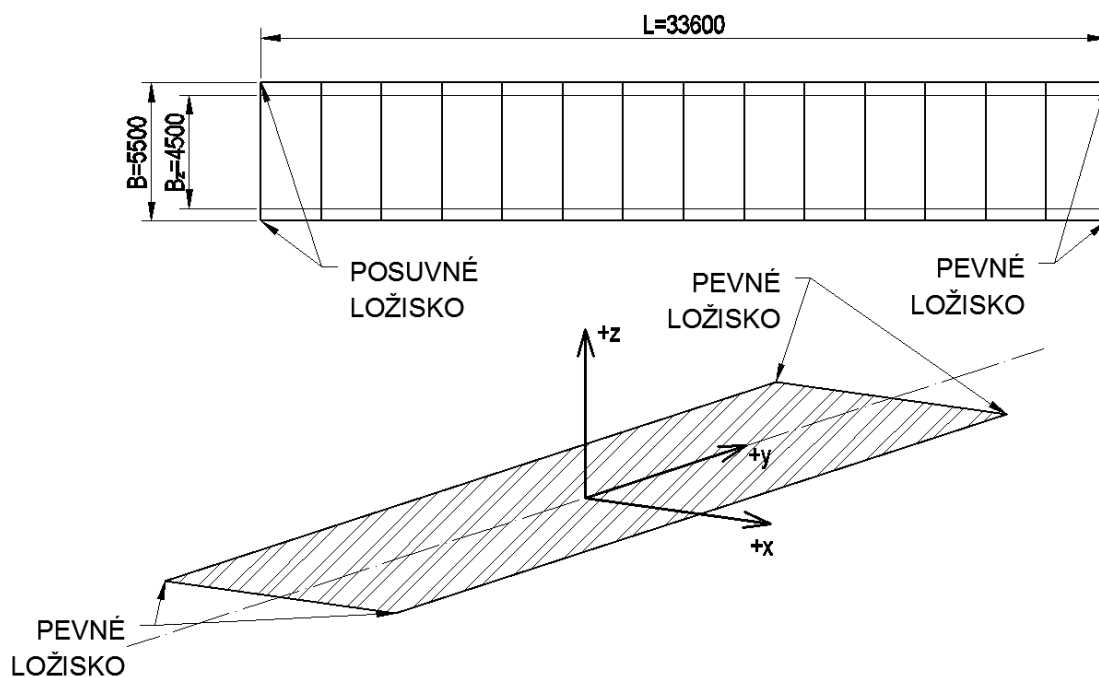
Tabulka 5 Tabulka zatěžovacích stavů modelovaných pro zvolenou variantu řešení lávky

Zatěžovací stavy pro dynamické posouzení lávky jsou popsány v kapitole 9.8.2.

## 5.1 Schémata pro zatěžovací stavy



Obr. 29 Schéma umístění zatížení davem lidí pro jednotlivé zatěžovací stavy ze souboru ZS3



Obr. 30 Schéma pro určení směru jednotlivých složek zatížení větrem pro dané zatěžovací stavy ze souborů ZS4 a ZS5

OZNAČENÍ ZS	URČENÍ ORIENTACE ZATÍŽENÍ PRO DANÝ SMĚR		
	SMĚR x	SMĚR y	SMĚR z
ZS4.1	+	+	+
ZS4.2	+	+	-
ZS4.3	+	-	+
ZS4.4	+	-	-
ZS4.5	-	-	-
ZS4.6	-	-	+
ZS4.7	-	+	-
ZS4.8	-	+	+

Tabulka 6 Tabulka popisující směry jednotlivých složek zatížení od větru pro jednotlivé zatěžovací stavy ze souboru ZS4

OZNAČENÍ ZS	URČENÍ ORIENTACE ZATÍŽENÍ PRO DANÝ SMĚR		
	SMĚR x	SMĚR y	SMĚR z
ZS5.1	+	+	+
ZS5.2	+	+	-
ZS5.3	+	-	+
ZS5.4	+	-	-
ZS5.5	-	-	-
ZS5.6	-	-	+
ZS5.7	-	+	-
ZS5.8	-	+	+

Tabulka 7 Tabulka popisující směry jednotlivých složek zatížení od větru pro jednotlivé zatěžovací stavy ze souboru ZS5

## 5.2 Nastavení zatěžovacích stavů a skupin zatížení

V následujících tabulkách je popsáno nastavení zatěžovacích stavů a skupin zatížení v programu Scia Engineer 2013.0. Toto je důležité kvůli správnému sestavování kombinací z těchto zatěžovacích stavů.

OZNAČENÍ SOUBORU ZS	TYP PŮSOBENÍ	SKUPINA ZATÍŽENÍ	SPECIFIKACE
ZS1	STÁLÉ	LG1	-
ZS2	STÁLÉ	LG1	-
ZS3	NAHODILÉ	LG2	STANDARD
ZS4	NAHODILÉ	LG3	STANDARD
ZS5	NAHODILÉ	LG4	STANDARD
ZS6	NAHODILÉ	LG5	TEPLOTA
ZS7	NAHODILÉ	LG6	TEPLOTA

Tabulka 8 Nastavení souborů zatěžovacích stavů

OZNAČNÍ SZ	VZTAH	ZATÍŽENÍ	KONSTRUKCE	TYP ZATÍŽENÍ
LG1	SPOLEČNĚ	STÁLÉ	-	-
LG2	VÝBĚROVÁ	NAHODILÉ	LÁVKA	DOPRAVA gr1
LG3	VÝBĚROVÁ	NAHODILÉ	LÁVKA	ZATÍŽENÍ VĚTREM $F_{wk}$
LG4	VÝBĚROVÁ	NAHODILÉ	LÁVKA	ZATÍŽENÍ VĚTREM $F_{wk}$
LG5	VÝBĚROVÁ	NAHODILÉ	LÁVKA	TEPLOTNÍ ZATÍŽENÍ $T_k$
LG6	VÝBĚROVÁ	NAHODILÉ	LÁVKA	TEPLOTNÍ ZATÍŽENÍ $T_k$

Tabulka 9 Nastavení skupin zatížení

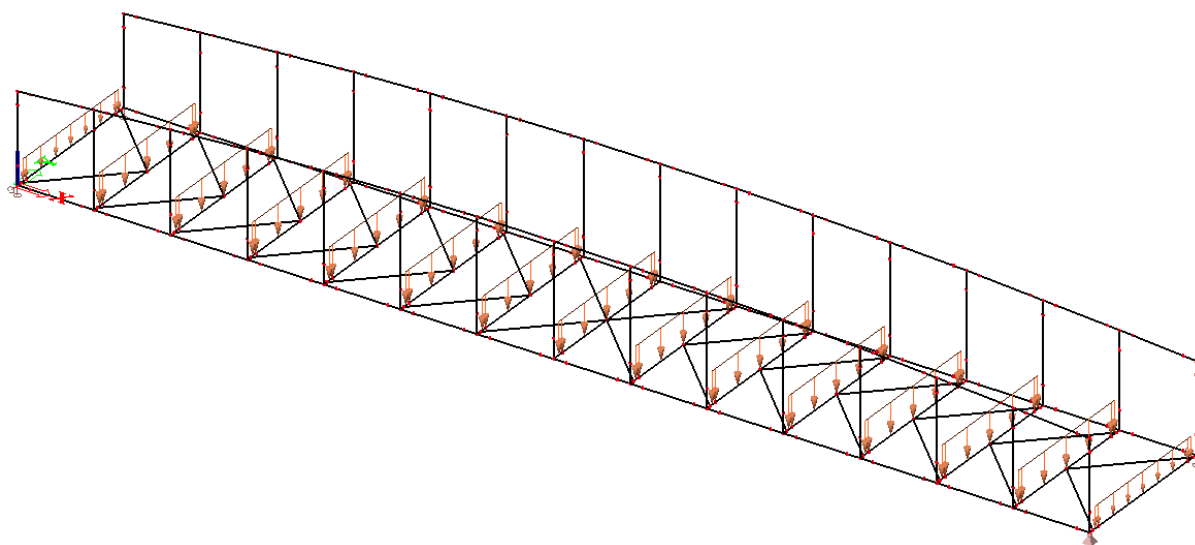
## 6. MODEL ZATÍŽENÍ A HMOT

### 6.1 Zatížení

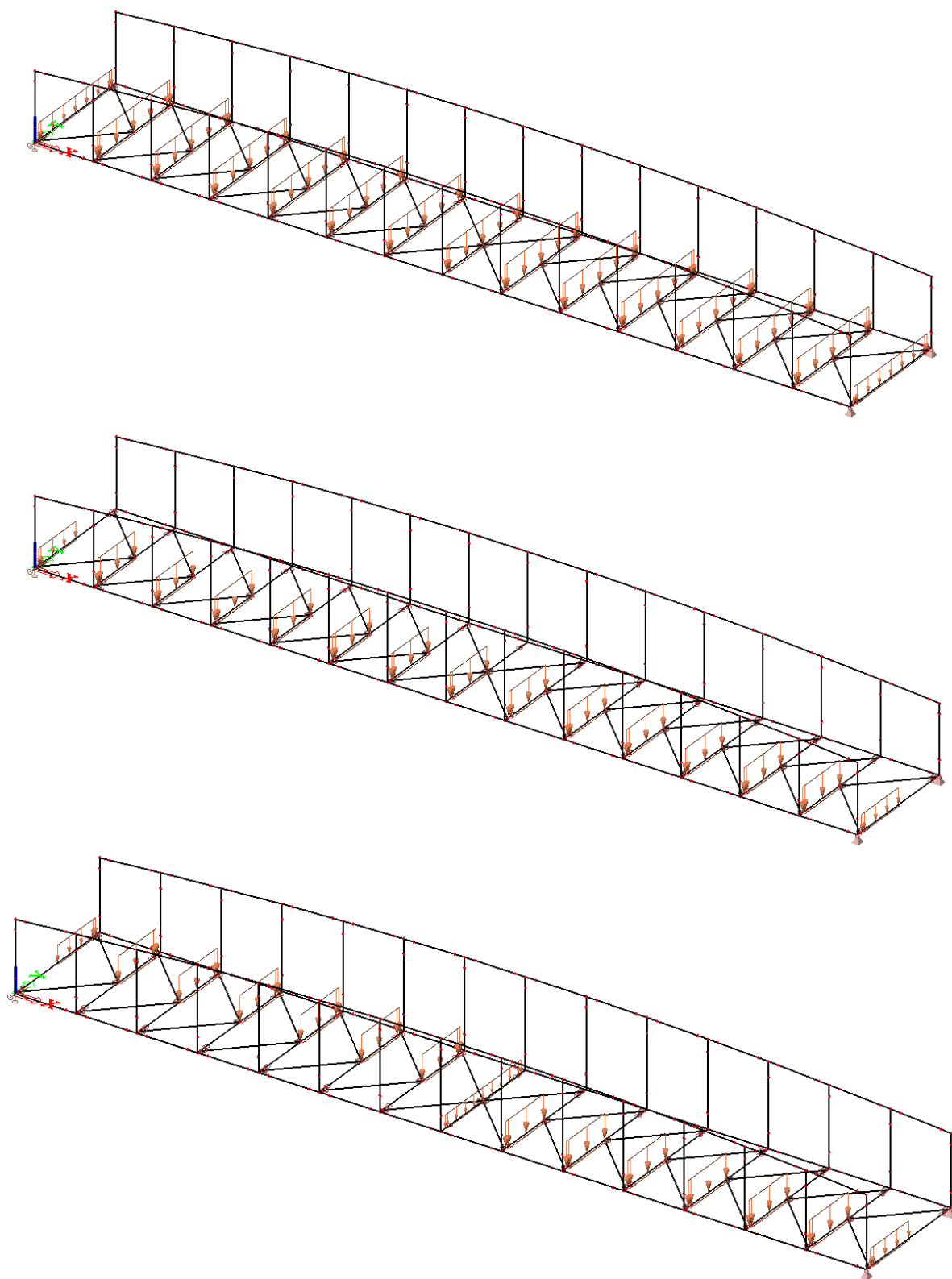
Charakteristické hodnoty veškerých zatížení a jejich umístění na konstrukci jsou stanoveny v kapitolách 4 a 5 tohoto dokumentu.

K modelování jednotlivých zatížení jsou využity nástroje programu Scia Engineer 2013.0 pro modelování silové a liniového zatížení na prutu, plošného zatížení pomocí generátoru rovinného zatížení se zvolenými prvky pro roznos zatížení, dále také nástroj pro modelování zatížení teplotou a to jak rovnoměrné, tak lineární složky zatížení teplotou.

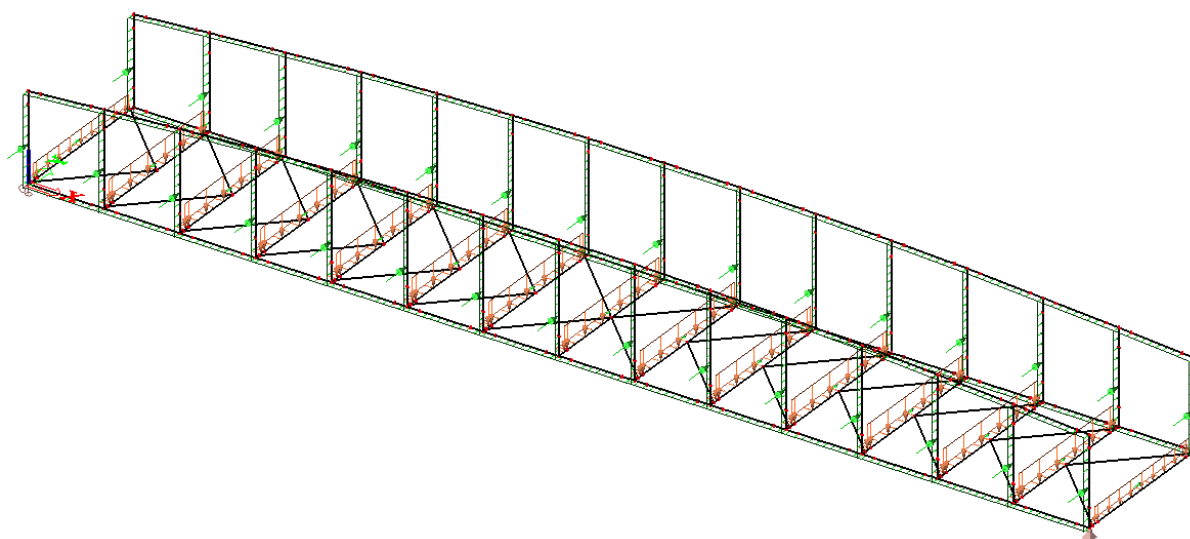
Pro jednotlivé zatěžovací stavy jsou níže uvedeny vzorové obrázky modelovaného zatížení:



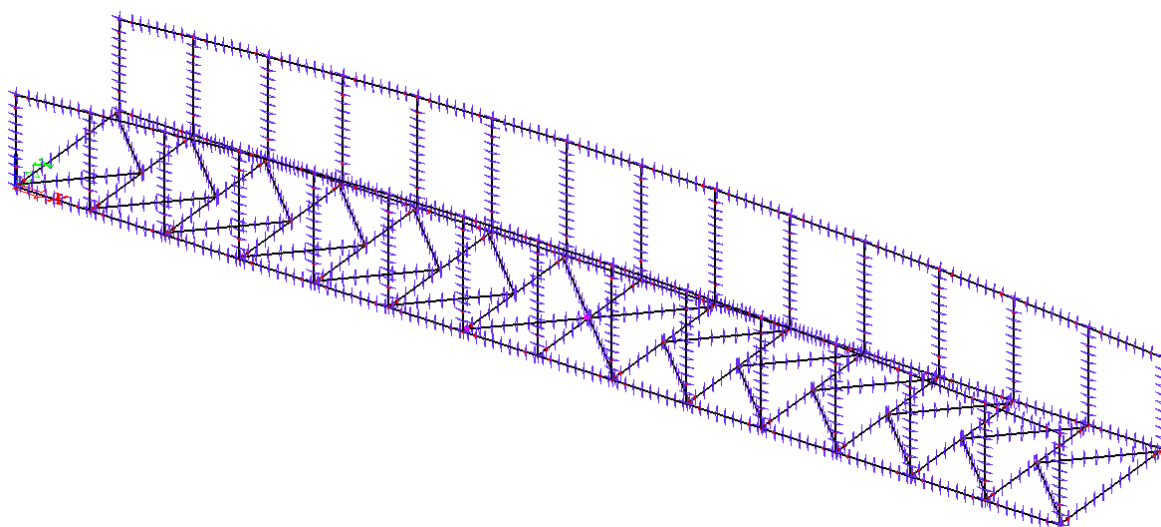
Obr. 31 ZS2 - Ostatní stálé zatížení



Obr. 32 ZS3 - Proměnné zatížení chodci a jeho různá rozmístění



Obr. 33 ZS4 a ZS5 - Zatížení větrem - příklad modelování zatížení větrem



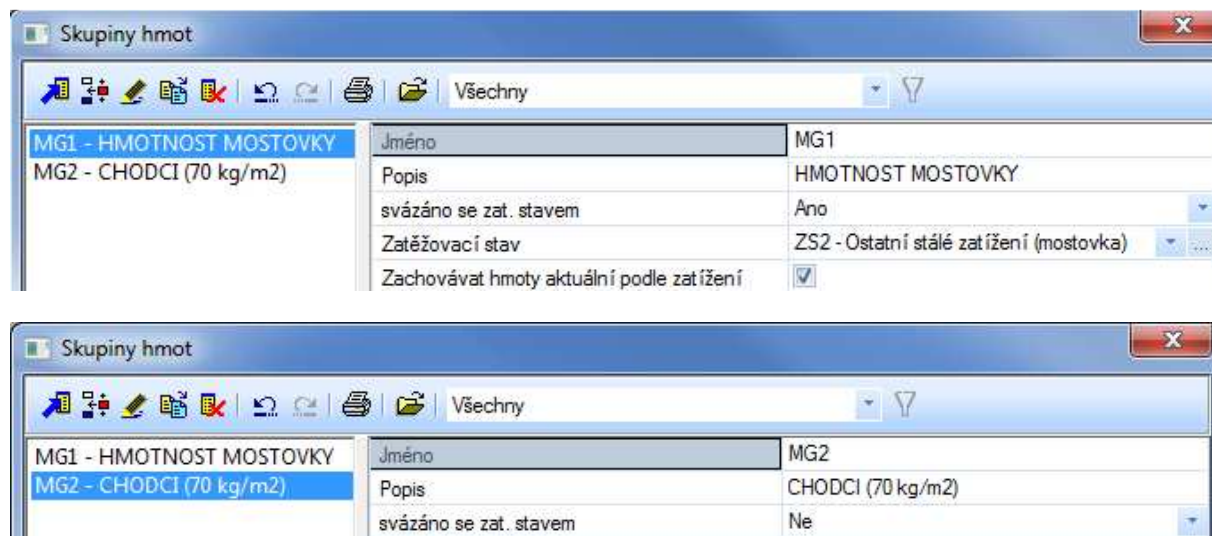
Obr. 34 ZS6 a ZS7 - Klimatické zatížení teplotou - příklad modelování zatížení teplotou pomocí nástroje programu Scia Engineer pro modelování zatížení teplotou na prutu

## 6.2 Hmoty

Pro stanovení hodnot vlastních frekvencí lávky pro pěší a cyklistickou dopravu jsou namodelovány hmoty od stálých zatížení lávky a od hmotnosti chodců na lávce ( $70 \text{ kg/m}^2$ ).

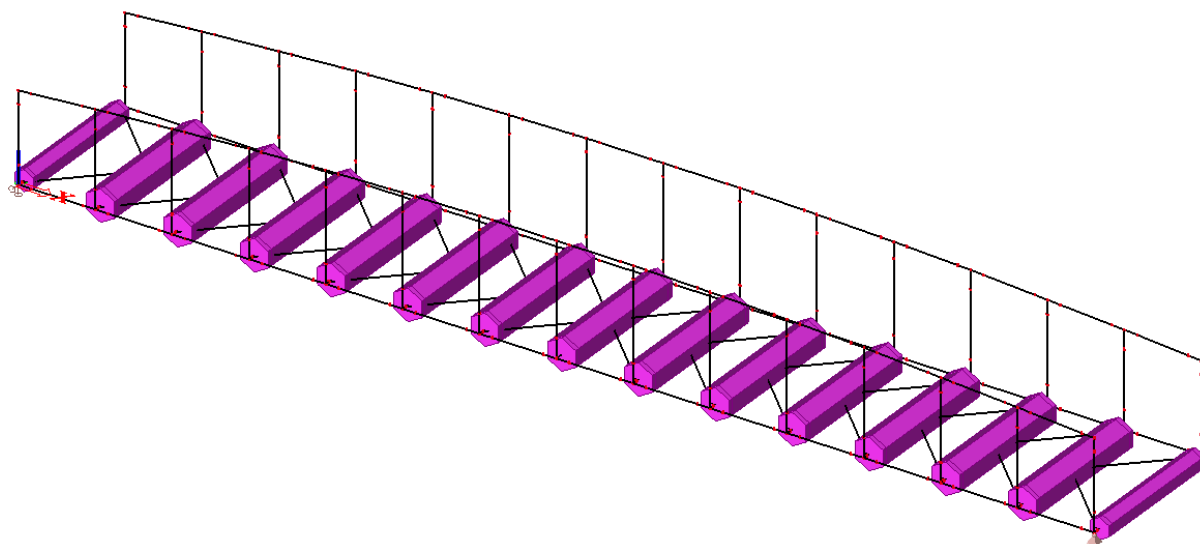
Hmoty modelu konstrukce, tedy hmotnosti jednotlivých namodelovaných prvků jsou generovány automaticky podle zvolených průřezů v modelu.

Jsou vytvořeny dvě skupiny hmot MG1 a MG2, kde MG1 nahrazuje nemodelovanou konstrukci mostovky a MG2 zastupuje hmotnost chodců na lávce. Pro vytvoření skupiny hmot MG1 byl využit ZS2, viz níže a pro MG2 byly namodelovány liniové hmoty na příčnících o velikosti podle jednotlivých zatěžovacích šířek příčníků.



Obr. 35 Nastavení vytvořených skupin hmot MG1 a MG2 v programu Scia Engineer 2013.0

Tímto byly namodelovány hmoty mostovky jako liniové hmoty na příčník, viz schéma níže.



Obr. 36 Schéma modelu hmot od MG1/MG2

Dále byly vytvořeny kombinace skupin hmot CM1, která obsahuje vlastní hmotu modelu (zahrnuto automaticky) a skupinu hmot MG1 a CM2, která obsahuje vlastní hmotu modelu, a skupiny hmot MG1 a MG2.

Skupiny hmot pro dynamické posouzení lávky jsou popsány v kapitole 9.8.2.



## 7. KOMBINACE ZATÍŽENÍ

### 7.1 Předpis kombinací zatížení

Kombinace zatížení jsou sestaveny podle ČSN EN 1990 ed.2 podle dané návrhové situace. Veškeré odkazy v této podkapitole se vztahují k této normě, pokud není uvedeno jinak.

- Mezní stav únosnosti MSÚ

Základní kombinace

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad [\text{dle 6.4.3.2 (6.10)}]$$

alternativně lze použít pro mezní stavy STR a GEO méně příznivou z následujících

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad [\text{dle 6.4.3.2 (6.10a)}]$$

$$\sum_{j \geq 1} \xi \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad [\text{dle 6.4.3.2 (6.10b)}]$$

G... stálé zatížení

P... zatížení od předpětí

Q... proměnné zatížení

$\gamma_i$ ... dílčí součinitel zatížení dle Přílohy A2, Tabulka A2.4(B)

$\gamma_G = 1,35$  pro nepříznivá zatížení

$\gamma_G = 1,00$  pro příznivá zatížení

$\gamma_P = 1,00$  pro zatížení předpětím

$\gamma_Q = 1,35$  pro proměnná zatížení chodci

$\gamma_Q = 1,50$  pro ostatní proměnná zatížení

$\psi_{0,i}$ ... kombinační součinitel

Typ zatížení

$\psi_0$

$\psi_1$

$\psi_2$

- Chodci

gr1

0,4

0,4

0,0

$Q_{fw,k}$

0,0

0,0

0,0

gr2

0,0

0,0

0,0

- Vítr

0,3

0,2

0,0

- Sníh (provádění)

0,8

0,0

0,0

- Teplota

0,6

0,6

0,5

[dle Přílohy A2.2.6, Tabulka A2.2]

$\xi$ ... redukční součinitel pro nepříznivá stálá zatížení

$\xi =$

0,85

-

2) Kombinace zatížení pro mimořádné návrhové situace (mimořádný výskyt vozidla na lávce)

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + A_d + (\psi_{1,1} \text{ nebo } \psi_{2,1}) Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i} \quad [\text{dle 6.4.3.3 (6.11b)}]$$

$A_d$ ... mimořádné zatížení

$\psi_{1,1}; \psi_{2,i}$ ... kombinační součinitele pro příslušnou návrhovou situaci dle příslušné normy ČSN EN 1991 až 1999  
dle ČSN EN 1991-2, 5.6.3 (3) se společně s modelem pro mimořádný výskyt vozidla nemá uvažovat žádné proměnné zatížení ( $\psi_{1,1}; \psi_{2,i} = 0$ )

- Mezní stav použitelnosti MSP

Pro posouzení mezního stavu použitelnosti bude použita charakteristická kombinace zatížení.

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + \gamma_P P + Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad [\text{dle Přílohy A2, Tabulka A2.6}]$$

$\psi_{0,i} \dots$  kombinační součinitel, viz předpis pro mezní stav únosnosti

Kritérium pro posouzení mezního stavu použitelnosti je mezní svislý posun  $L/250$ .

## 7.2 Kombinace zatížení

V této kapitole jsou popsány kombinace zatěžovacích stavů sestavené podle předpisů uvedených výše a modelované ve výpočetním programu Scia Engineer 2013.0.

NÁZEV	MEZNÍ STAV	TYP	POPIS	OBSAŽENÉ ZS
CO1	MSÚ	EN-MSÚ SOUBOR B	NEZATÍŽENÁ LÁVKA A ÚČINKY VĚTRU	ZS1, ZS2, ZS7
CO2	MSÚ	EN-MSÚ SOUBOR B	ZATÍŽENÍ STÁLÉ, CHODCI, VÍTR NA ZATÍŽENOU LÁVKU	ZS1, ZS2, ZS3, ZS6
CO3	MSÚ	EN-MSÚ SOUBOR B	ZATÍŽENÍ STÁLÉ, CHODCI, TEPLOTA	ZS1, ZS2, ZS3, ZS8, ZS9
CO4	MSÚ	LINEÁRNÍ ÚNOSNOST	MINIMÁLNÍ ZATÍŽENÍ LÁVKY - STÁLÉ	ZS1, ZS2
CO5	MSP	EN-MSP CHARAKTERISTICKÁ	NEZATÍŽENÁ LÁVKA A ÚČINKY VĚTRU	ZS1, ZS2, ZS7
CO6	MSP	EN-MSP CHARAKTERISTICKÁ	ZATÍŽENÍ STÁLÉ, CHODCI, VÍTR NA ZATÍŽENOU LÁVKU	ZS1, ZS2, ZS3, ZS6
CO7	MSP	EN-MSP CHARAKTERISTICKÁ	ZATÍŽENÍ STÁLÉ, CHODCI, TEPLOTA	ZS1, ZS2, ZS3, ZS8, ZS9

Tabulka 10 Kombinace zatížení použité pro návrh a posouzení lávky

V programu Scia Engineer bylo kontrolováno nastavení tvorby kombinací a kombinace rozloženy na obálky, aby bylo možno zkontrolovat, zda byly kombinace vytvořeny správně a přiřazeny správné hodnoty součinitelů.

## 8. NÁVRH A POSOUZENÍ MOSTOVKY

### 8.1 Úvod

Statické schéma mostovky je spojitý nosník na pružných podporách. Průhyb hlavních nosníků a tuhost příčníků však může způsobovat zvětšování kladných momentů na desce. Mostovka je zjednodušeně navržena jako nosný trapézový plech na rozpětí 2,4 m. Trapézový plech musí být posouzena na stálé zatížení, rovnoměrné zatížení chodci, mimořádné zatížení od výskytu vozidla do 2,5t na lávce a také montážní zatížení dle ČSN EN 1991-1-6 trapézového plechu jako ztraceného bednění pro výplňový beton.

### 8.2 Materiály

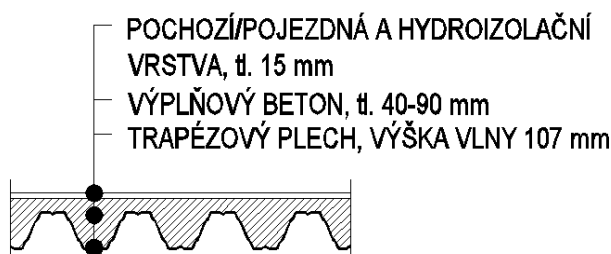
Trapézový plech	S320 GD	$E_s =$	210	GPa
		$f_{sk} =$	320	MPa
		$\gamma_{M,0} =$	1,0	-
		$f_{sd} =$	320	MPa

Nenosné materiály	Beton	C16/20
	Betonářská výztuž	Kari síť $\Phi 4$ a150 mm, B 420B

### 8.3 Zatížení mostovky

Zatížení jsou stanovena podle norem ČSN EN 1991-1-1, ČSN EN 1991-2, ČSN EN 1991-1-6, ČSN EN 1994-1-1. Všechna zatížení jsou stanovena v charakteristických hodnotách.

#### 8.3.1 Zatížení stálá



Obr. 37 Skladba mostovky

Pochozí vrstva Parkdeck je zároveň také izolační vrstva proti vodě a spolu s navrženým příčným a podélným sklonem zajišťuje odvod vody z povrchu mostovky.

Zatížení	$\text{kN/m}^3$	$\text{kN/m}^2$	Rozměr 1 [m]	Rozměr 2 [m]	$\text{kN/m}$
Trapez. plech	-	0,2	-	1,00	0,2
ŽB deska	25,00	-	0,120	1,00	3,0
Parkdeck vrstva	25,00	-	0,015	1,00	0,38
$g_k$					3,58

Tabulka 11 Stálá zatížení mostovky

### 8.3.2 Zatížení proměnná

Jako zatížení proměnná jsou pro mostovku uvažována tyto zatížení:

- zatížení chodci – dav lidí (dle ČSN EN 1991-2)

Zatížení	$\text{kN/m}^3$	$\text{kN/m}^2$	Rozměr 1 [m]	Rozměr 2 [m]	$\text{kN/m}$
Dav lidí	-	5,00	-	1,00	5,00
$q_k$					5,00

Tabulka 12 Proměnná zatížení - dav lidí

- soustředěné zatížení  $Q_{fwk}$  (dle ČSN EN 1991-2)

Zatížení	$Q_{fwk}$ [kN]	Rozměr 1 [m]	$\text{kN/m}$
Soustředěné zatížení	10,0	0,31	32,258

Tabulka 13 Proměnná zatížení - soustředěné zatížení

- montážní zatížení (dle ČSN EN 1991-1-6, ČSN EN 1994-1-1)

Zatížení	$\text{kN/m}^3$	$\text{kN/m}^2$	Rozměr 1 [m]	Rozměr 2 [m]	$\text{kN/m}$
Bednění	-	0,2	-	1,00	0,20
Čerstvý beton	25,00	-	0,12	1,00	3,00
$q_{1,k}$					3,20

Tabulka 14 Montážní zatížení  $q_{1,k}$

10% $q_{1,k}$	0,32	$\text{kN/m}$	> 0,75 $\text{kN/m}$	NESPLNĚNO
			< 1,50 $\text{kN/m}$	SPLNĚNO
$q_{2,k}$				0,75

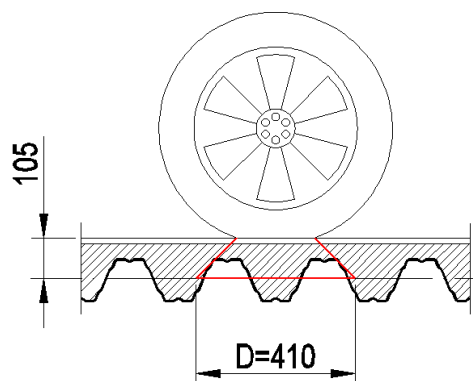
Tabulka 15 Montážní zatížení  $q_{2,k}$

Montážní zatížení je bráno jako zatížení proměnné.

$\Sigma q_{i,k}$	3,95
$\gamma_Q$	1,5
$\Sigma q_{i,d}$	5,93

Tabulka 16 Souhrn montážního zatížení ztraceného bednění

### 8.3.3 Mimořádná zatížení

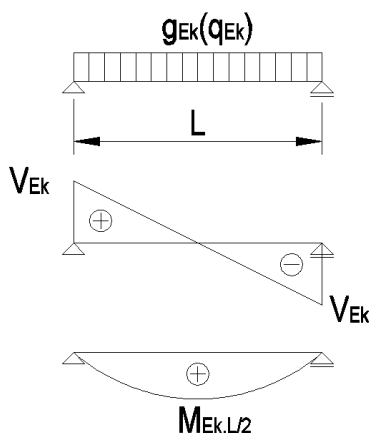


Mimořádným zatížením se pro mostovku rozumí mimořádný výskyt vozidla na lávce. Mostovka musí být schopná přenést soustředěné zatížení od kolových sil vozidla, u kterého se předpokládá mimořádný výskyt na lávce. Bylo zvoleno vozidlo do hmotnosti 2,5t, které má nahrazovat vozidlo údržby či vozidlo pro odklizení sněhu. Nápravové síly vozidla jsou brány jako 8t a 4,5t. Roznášecí plocha kola je 0,2 x 0,2 m.

Zatížení	D [m]	$Q_{sv1}$ [kN]	$A_k$ [kN/m]
Mimořádné vozidlo na lávce	0,41	8,00	<b>19,513</b>

Tabulka 17 Charakteristická hodnota liniového zatížení od kolové síly

## 8.4 Stanovení vnitřních sil pro návrh mostovky



Obr. 38 Schéma vnitřních sil

Vnitřní síly jsou stanoveny na 1mb šířky desky, stejně tak je deska poté i posouzena.

- Stálé zatížení

$$g_k = 3,58 \text{ kN.m}^{-1}$$

$$L = 2,4 \text{ m}$$

$$V_{Ek} = 0,5L \cdot g_k = 0,5 \cdot 2,4 \cdot 3,58 = 4,296 \text{ kN}$$

$$M_{Ek} = 0,125 \cdot g_k \cdot L^2 = 0,125 \cdot 3,58 \cdot 2,4^2 = 2,578 \text{ kNm}$$

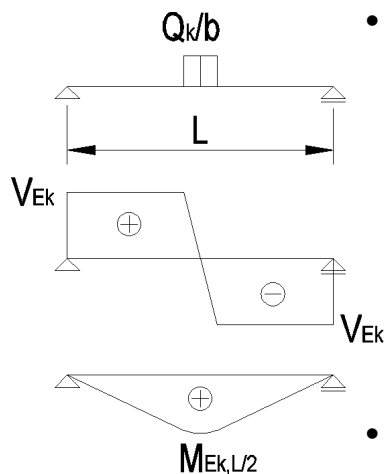
- Zatížení davem lidí

$$q_k = 5,0 \text{ kN.m}^{-1}$$

$$L = 2,4 \text{ m}$$

$$V_{Ek} = 0,5L \cdot q_k = 0,5 \cdot 2,4 \cdot 5,0 = 6,0 \text{ kN}$$

$$M_{Ek} = 0,125 \cdot q_k \cdot L^2 = 0,125 \cdot 5,0 \cdot 2,4^2 = 3,6 \text{ kNm}$$



Obr. 39 Schéma vnitřních sil  
soustředěného zatížení a kolové síly

- Soustředěné zatížení proměnné

$$Q_{fwk} = 10,0 \text{ kN} \quad (q_k = Q_k/b)$$

$$b = 0,31 \text{ m} \quad (\text{roznášecí šířka})$$

$$L = 2,4 \text{ m}$$

$$V_{Ek} = 0,5 \cdot Q_k = 0,5 \cdot 10,0 = 5,000 \text{ kN}$$

$$M_{Ek} = V_{Ek} \cdot 0,5L - q_k \cdot b^2/8 =$$

$$5,0 \cdot 1,2 - 32,258 \cdot 0,31^2/8 = 5,613 \text{ kNm}$$

$$V_{Ek,max} = 8,000 \text{ kN}$$

- Montážní zatížení

$$\Sigma q_{k,i} = 3,95 \text{ kN.m}^{-1}$$

$$L = 2,4 \text{ m}$$

$$V_{Ek} = 0,5L \cdot q_k = 0,5 \cdot 2,4 \cdot 3,95 = 4,74 \text{ kN}$$

$$M_{Ek} = 0,125 \cdot q_k \cdot L^2 = 0,125 \cdot 3,95 \cdot 2,4^2 = 2,844 \text{ kNm}$$

- Mimořádné zatížení – kolová síla

$$Q_k = 8,0 \text{ kN} \quad (q_k = Q_k/b)$$

$$b = 0,41 \text{ m} \quad (\text{roznášecí šířka})$$

$$L = 2,4 \text{ m}$$

$$V_{Ek} = 0,5 \cdot Q_k = 0,5 \cdot 8,0 = 4,000 \text{ kN}$$

$$M_{Ek} = V_{Ek} \cdot 0,5L - q_k \cdot b^2/8 =$$

$$4,0 \cdot 1,2 - 19,513 \cdot 0,41^2/8 = 4,390 \text{ kNm}$$

$$V_{Ek,max} = 8,000 \text{ kN}$$

## 8.5 Kombinace zatížení

Kombinace zatížení jsou sestaveny podle ČSN EN 1990, ed. 2 pro dané zatížení a dané návrhové situace a fáze.

### 8.5.1 Kombinace pro mezní stav únosnosti

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad [\text{dle 6.4.3.2 (6.10a)}]$$

$$\sum_{j \geq 1} \xi \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad [\text{dle 6.4.3.2 (6.10b)}]$$

Pro návrh je použita vždy méně příznivá kombinace zatížení z výše uvedené dvojice.

Podle daných předpisů budou kombinovány vnitřní síly v následující kapitole.

### 8.5.2 Kombinace pro mimořádné návrhové situace

Rozhodující kombinací pro návrh mostovky je mimořádná kombinace zatížení.

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + A_d + (\psi_{1,1} \text{ nebo } \psi_{2,1}) Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i} \quad [\text{dle 6.4.3.3 (6.11b)}]$$

### 8.5.3 Kombinace pro mezní stav použitelnosti

Pro posouzení nutnosti zahrnutí tzv. rybníkového efektu pro návrh ztraceného bednění je použita charakteristická kombinace zatížení.

### 8.5.4 Kombinace vnitřních sil

- Kombinace pro mimořádnou návrhovou situaci

$$\begin{aligned} V_{Ed, \max} &= V_{Ek, g} + V_{Ek, Q, \max} = 4,296 + 8,000 = & 12,296 \text{ kN} \\ M_{Ed} &= M_{Ek, g} + M_{Ek, Q} = 2,578 + 4,390 = & 6,968 \text{ kNm} \end{aligned}$$

- Kombinace pro trvalé a dočasné návrhové situace pro proměnné zatížení davem lidí
  - dle 6.10a

$$\begin{aligned} V_{Ed} &= \gamma_G V_{Ek, g} + \gamma_Q \psi_{0,1} V_{Ek, q} = 1,35 \cdot 4,296 + 1,5 \cdot 0,4 \cdot 6,0 = & 9,400 \text{ kN} \\ M_{Ed} &= \gamma_G M_{Ek, g} + \gamma_Q \psi_{0,1} M_{Ek, q} = 1,35 \cdot 2,578 + 1,5 \cdot 0,4 \cdot 3,6 = & 5,641 \text{ kNm} \end{aligned}$$

- dle 6.10b

$$\begin{aligned} V_{Ed} &= \xi \gamma_G V_{Ek, g} + \gamma_Q V_{Ek, q} = 0,85 \cdot 1,35 \cdot 4,296 + 1,5 \cdot 6,0 = & 13,930 \text{ kN} \\ M_{Ed} &= \xi \gamma_G M_{Ek, g} + \gamma_Q M_{Ek, q} = 0,85 \cdot 1,35 \cdot 2,578 + 1,5 \cdot 3,6 = & 8,359 \text{ kNm} \end{aligned}$$

- Kombinace pro trvalé a dočasné návrhové situace pro proměnné zatížení soustředěným zatížením

- dle 6.10a

$$\begin{aligned} V_{Ed} &= \gamma_G V_{Ek, g} + \gamma_Q \psi_{0,1} V_{Ek, q} = 1,35 \cdot 4,296 + 1,5 \cdot 0,4 \cdot 8,0 = & 10,600 \text{ kN} \\ M_{Ed} &= \gamma_G M_{Ek, g} + \gamma_Q \psi_{0,1} M_{Ek, q} = 1,35 \cdot 2,578 + 1,5 \cdot 0,4 \cdot 5,613 = & 6,848 \text{ kNm} \end{aligned}$$

- dle 6.10b

$$\begin{aligned} V_{Ed} &= \xi \gamma_G V_{Ek, g} + \gamma_Q V_{Ek, q} = 0,85 \cdot 1,35 \cdot 4,296 + 1,5 \cdot 8,0 = & 16,930 \text{ kN} \\ M_{Ed} &= \xi \gamma_G M_{Ek, g} + \gamma_Q M_{Ek, q} = 0,85 \cdot 1,35 \cdot 2,578 + 1,5 \cdot 5,613 = & 11,378 \text{ kNm} \end{aligned}$$

- Kombinace pro montážní fázi a návrh ztraceného bednění

- Kombinace pro mezní stav únosnosti

$$V_{Ed} = \gamma_Q V_{Ek,q} = 1,5 \cdot 4,740 = 7,110 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = \gamma_Q M_{Ek,q} = 1,5 \cdot 2,844 = 4,266 \text{ kNm}$$

- Kombinace pro posouzení nutnosti zahrnutí tzv. rybníkového efektu

$$V_{Ek} = 4,740 \text{ kN}$$

$$M_{Ek} = 2,844 \text{ kNm}$$

## 8.6 Posouzení návrhu mostovky

Posouzení nosného trapézového plechu je provedeno podle teorie elasticity. Průřezové charakteristiky jsou převzaty z podkladů výrobce. Skutečně použitý trapézový plech musí mít materiálové a průřezové charakteristiky stejné, nebo lepší než posuzovaný trapézový plech.

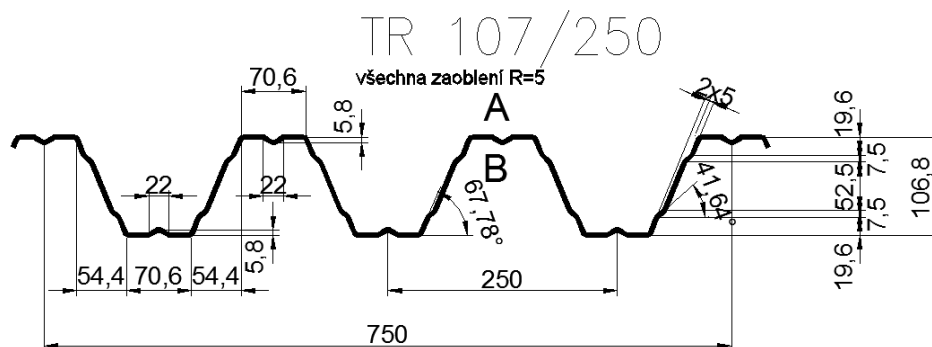
Vzhledem k použití výplňového betonu vyztuženého konstrukčně kari sítí lze uvažovat spolupůsobení vln trapézového plechu při zatížení soustředěnou nebo kolovou silou o velikosti 0,6.

### 8.6.1 Posouzení pro mimořádnou návrhovou situaci

Návrhové hodnoty vnitřních sil:

$$M_{Ed} = 6,968 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed,max} = 12,296 \text{ kN}$$



Navržený trapézový plech: TR107/250/1.5

Průřezové charakteristiky pro 1m šířky

$$t = 1,5 \text{ mm}$$

$$m = 20,0 \text{ kg/m}^2$$

$$A = 2315 \text{ mm}^2$$

$$I_{y,eff} = 3,717 \cdot 10^5 \text{ mm}^4$$

$$W_{y,eff-} = 67410 \text{ mm}^3$$

$$W_{y,eff+} = 67410 \text{ mm}^3$$

$$A_v = 720 \text{ mm}^2$$

$$k = 0,6 \text{ - (součinitel spolupůsobení)}$$

Posouzení na ohybový moment:

$$M_{Rd} = W_{y,eff} \cdot f_{sd} \cdot k / \gamma_{M0} = 67410 \cdot 320 \cdot 0,6 / 1,0 = 12,943 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} / M_{Rd} = 6,968 / 12,943 = 0,54 \text{ - (54\%)} \text{ VYHOVÍ}$$



**Posouzení na posouvací sílu:**

$$F_{V,Rd} = A_V \cdot f_{sd} \cdot k / (\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}) = 720 \cdot 320 \cdot 0,6 / (\sqrt{3} \cdot 1) = 79,813 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} / F_{V,Rd} = 12,296 / 79,813 = 0,154 - (16\%) \text{ VYHOVÍ}$$

**8.6.2 Posouzení pro trvalou a dočasnou návrhovou situaci – dav lidí**

**Návrhové hodnoty vnitřních sil:**

$$M_{Ed} = 8,359 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed,max} = 13,930 \text{ kN}$$

**Posouzení na ohybový moment:**

$$M_{Rd} = W_{y,eff} \cdot f_{sd} / \gamma_{M0} = 67410 \cdot 320 / 1,0 = 21,571 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} / M_{Rd} = 8,359 / 21,571 = 0,388 - (39\%) \text{ VYHOVÍ}$$

**Posouzení na posouvací sílu:**

$$F_{V,Rd} = A_V \cdot f_{sd} / (\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}) = 720 \cdot 320 / (\sqrt{3} \cdot 1) = 133,021 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} / F_{V,Rd} = 13,930 / 133,021 = 0,11 - (11\%) \text{ VYHOVÍ}$$

**8.6.2 Posouzení pro trvalou a dočasnou návrhovou situaci – soustředěné zatížení**

**Návrhové hodnoty vnitřních sil:**

$$M_{Ed} = 11,378 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed,max} = 16,930 \text{ kN}$$

**Posouzení na ohybový moment:**

$$M_{Rd} = W_{y,eff} \cdot f_{sd} \cdot k / \gamma_{M0} = 67410 \cdot 320 \cdot 0,6 / 1,0 = 12,943 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} / M_{Rd} = 11,378 / 12,943 = 0,88 - (88\%) \text{ VYHOVÍ}$$

**Posouzení na posouvací sílu:**

$$F_{V,Rd} = A_V \cdot f_{sd} \cdot k / (\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}) = 720 \cdot 320 \cdot 0,6 / (\sqrt{3} \cdot 1) = 79,813 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} / F_{V,Rd} = 16,930 / 79,813 = 0,22 - (22\%) \text{ VYHOVÍ}$$

**8.6.3 Posouzení montážní fáze**

**Návrhové hodnoty vnitřních sil:**

$$V_{Ed} = 7,110 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = 4,266 \text{ kNm}$$

**Posouzení na ohybový moment:**

$$M_{Rd} = W_{y,eff} \cdot f_{sd} / \gamma_{M0} = 67410 \cdot 320 / 1,0 = 21,571 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} / M_{Rd} = 4,266 / 21,571 = 0,198 - (20\%) \text{ VYHOVÍ}$$

#### Posouzení na posouvací sílu:

$$F_{V,Rd} = A_V \cdot f_{sd} / (\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}) = 720 \cdot 320 / (\sqrt{3} \cdot 1) = 133,021 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} / F_{V,Rd} = 7,110 / 133,021 = 0,053 \quad (6\%) \quad \text{VYHOVÍ}$$

#### Posouzení nutnosti zahrnutí tzv. rybníkového efektu

$$E = 210000 \text{ MPa}$$

$$L = 2,4 \text{ m}$$

$$I_{y,eff} = 3,717 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$q_k = 3,95 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$$

$$\delta = \frac{5}{384} \cdot \frac{q_k \cdot L^4}{EI_{y,eff}} = \frac{5}{384} \cdot \frac{3,95 \cdot 2,4^4 \cdot 10^{12}}{210000 \cdot 3,717 \cdot 10^6} = 2,2 \text{ mm}$$

$$\delta = 2,2 \text{ mm} < 0,1h = 0,1 \cdot 40 = 4 \text{ mm}$$

Tzv. rybníkový efekt lze u navrženého trapézového plechu zanedbat.

Navržený plech vyhoví na montážní zatížení.

Navržená a posouzená konstrukce mostovky lávky pro pěší a cyklistickou dopravu vyhoví pro dané zatížení a zkoumané konstrukční fáze.

### 8.6.4 Posouzení na mezní stav použitelnosti

#### Posouzení pro trvalou a dočasnou návrhovou situaci – dav lidí

$$E = 210000 \text{ MPa}$$

$$L = 2,4 \text{ m}$$

$$I_{y,eff} = 3,717 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$q_k = 8,58 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$$

$$\delta = \frac{5}{384} \cdot \frac{q_k \cdot L^4}{EI_{y,eff}} = \frac{5}{384} \cdot \frac{8,58 \cdot 2,4^4 \cdot 10^{12}}{210000 \cdot 3,717 \cdot 10^6} = 4,8 \text{ mm}$$

$$\delta = 4,8 \text{ mm} < L/250 = 2400/250 = 9,6 \text{ mm} \quad \text{VYHOVÍ}$$

#### Posouzení pro trvalou a dočasnou návrhovou situaci – soustředěné zatížení

$$E = 210000 \text{ MPa}$$

$$L = 2,4 \text{ m}$$

$$I_{y,eff} = 3,717 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$Q_{fwk} = 10,0 \text{ kN}$$

$$\delta = \frac{Q_{fwk} \cdot L^3}{48 E \cdot I_{y,eff}} = \frac{10,0 \cdot 2,4^3 \cdot 10^{12}}{48 \cdot 210000 \cdot 3,717 \cdot 10^6} = 6,2 \text{ mm}$$

$$\delta = 6,2 \text{ mm} < L/250 = 2400/250 = 9,6 \text{ mm} \quad \text{VYHOVÍ}$$

Navržená mostovka vyhoví pro mezní stav použitelnosti pro navržené zatížení.

## 9. NÁVRH A POSOUZENÍ JEDNOTLIVÝCH PRVKŮ OCELOVÉ NOSNÉ KONSTRUKCE LÁVKY PRO PĚŠÍ A CYKLISTICKOU DOPRAVU

Veškeré posuzované prvky jsou posouzeny podle teorie mezních stavů dle souboru evropských norem EN/ČSN EN platných k datu vydání/publikace tohoto dokumentu. Veškeré použité normy jsou obsaženy v seznamu v závěru tohoto dokumentu.

### 9.1 Materiál

Pro návrh hlavních prvků ocelové nosné konstrukce lávky pro pěší a cyklistickou dopravu je použit materiál S275.

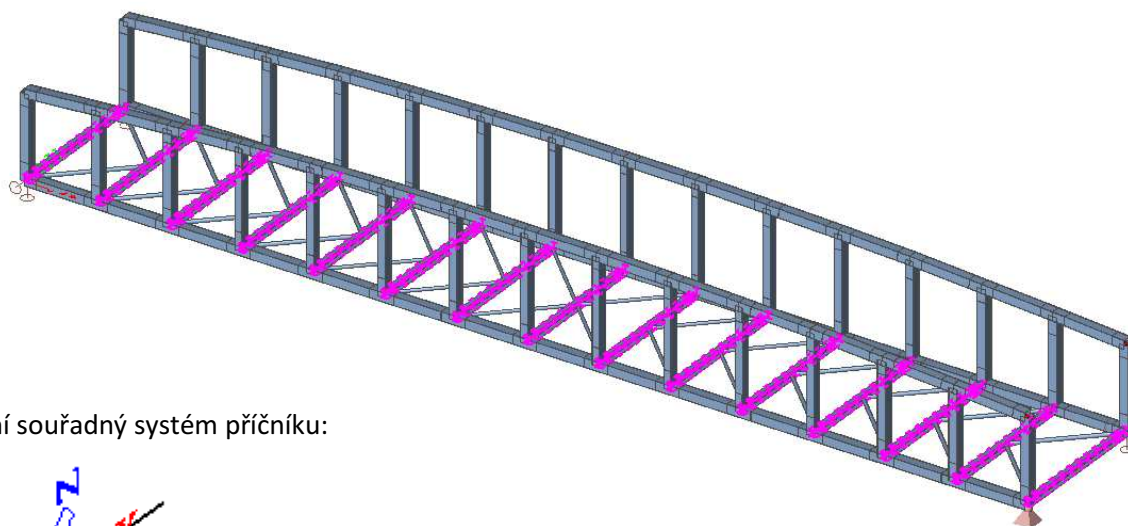
Youngův modul	$E =$	210 000	MPa
Modul pružnosti ve smyku	$G =$	81 000	MPa
Mez kluzu	$f_y =$	275	MPa (t < 40 mm)
		255	MPa (t > 40 mm)
Mez pevnosti	$f_u =$	430	MPa (t < 40 mm)
		410	MPa (t > 40 mm)
Tepelná roztažnost	$\mu =$	$1,2 \cdot 10^{-5}$	$K^{-1}$
Jednotková hmotnost	$\rho =$	7850,0	$kg \cdot m^{-3}$
Poissonův součinitel	$\eta =$	0,3	-
Součinitele materiálu	$\gamma_{M0} =$	1,0	-
	$\gamma_{M1} =$	1,0	-
	$\gamma_{M2} =$	1,25	-

## 9.2 Návrh a posouzení příčníků

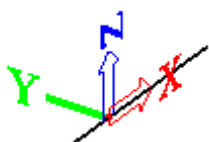
### 9.2.1 Návrhové hodnoty vnitřních sil pro posouzení

		Kombinace	N [kN]	V <sub>y</sub> [kNm]	V <sub>z</sub> [kNm]	M <sub>x</sub> [kNm]	M <sub>y</sub> [kNm]	M <sub>z</sub> [kNm]
1	N <sub>max</sub>	CO2/31	<b>-135,99</b>	58,19	33,75	0	-8,97	-8,22
2	N <sub>max</sub>	CO2/155	<b>135,47</b>	-60,25	6,61	0	20,29	8,77
3	V <sub>y,max</sub>	CO2/156	-133,85	<b>65,03</b>	26,80	0	-10,97	<b>-10,26</b>
4	V <sub>z,max</sub>	CO2/157	0,61	-19,73	<b>-63,10</b>	0	-6,9	-3,45
5	M <sub>y,max</sub>	CO2/15	3,99	-56,26	-44,51	0	<b>-14,09</b>	-8,55
6	M <sub>y,max</sub>	CO2/32	1,4	-2,43	-1,08	0	<b>85,05</b>	0,94
7	M <sub>z,max</sub>	CO2/156	-133,85	<b>65,03</b>	26,80	0	-10,97	<b>-10,26</b>

Tabulka 18 Hodnoty návrhových sil od jednotlivých kombinací zatížení pro příčnky



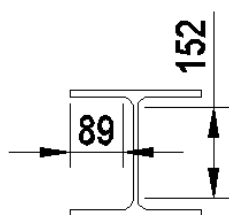
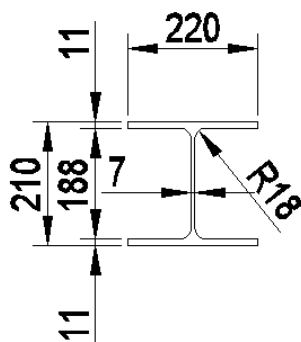
Lokální souřadný systém příčniku:



Obr. 40 Pozice příčníků v modelu lávky

## 9.2.2 Průřezové charakteristiky

### HEA220



### HEA220

$A$	$= 6430$	$\text{mm}^2$		
$I_y$	$= 5,410 \cdot 10^7$	$\text{mm}^4$	$i_y = 92 \text{ mm}$	$L_{cr,y} = 5000 \text{ mm}$
$I_z$	$= 1,960 \cdot 10^7$	$\text{mm}^4$	$i_z = 55 \text{ mm}$	$L_{cr,z} = 4200 \text{ mm}$
$I_t$	$= 2,850 \cdot 10^5$	$\text{mm}^4$		
$I_\omega$	$= 1,933 \cdot 10^{11}$	$\text{mm}^6$	$i_0 = 107 \text{ mm}$	$L_{cr,T} = 4200 \text{ mm}$
$W_{el,y}$	$= 5,150 \cdot 10^5$	$\text{mm}^3$		
$W_{el,z}$	$= 1,780 \cdot 10^5$	$\text{mm}^3$		
$W_{pl,y}$	$= 5,680 \cdot 10^5$	$\text{mm}^3$		
$W_{pl,z}$	$= 2,720 \cdot 10^5$	$\text{mm}^3$		

#### • Zatřídění průřezu

##### ○ stojina

$c =$	152	mm
$t =$	7	mm

$$c/t = 152/7 = 21,7 \quad - \quad < 66,24 \text{ třída 1 pro ohyb} \\ < 30,36 \text{ třída 1 pro tlak}$$

##### ○ pásnice

$c =$	89	mm
$t =$	11	mm

$$c/t = 89/11 = 8,1 \quad - \quad < 8,28 \text{ třída 1 pro tlak}$$

**Průřez třídy 1.**

### 9.2.3 Posouzení na normálovou sílu a vzpěrný tlak

#### Prostý tah/tlak:

$$\begin{aligned} A &= 6430 \text{ mm}^2 \\ f_y &= 275 \text{ MPa} \\ \gamma_{M0} &= 1,0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_{Rd} &= \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{6430 \cdot 275}{1,0} = 1768,25 \text{ kN} \\ N_{Ed,max}/N_{Rd,y} &= 135,47/1840,150 = 0,074 \text{ (8\%)} \end{aligned}$$

#### Rovinný vzpěr:

$$\begin{aligned} y-y \quad L_{cr,y} &= 5000 \text{ mm} \\ i_y &= 92 \text{ mm} \\ \varepsilon &= 0,92 \text{ -} \\ \text{křivka } a &\text{ -} \\ \alpha &= 0,21 \text{ -} \end{aligned}$$

$$\lambda_1 = 93,9 \quad \varepsilon = 93,9 \cdot 0,92 = 86,388 \text{ -}$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} \cdot \frac{1}{\lambda_1} = \frac{5000}{92} \cdot \frac{1}{86,388} = 0,629 \text{ -}$$

$$\Phi_y = \frac{1}{2} [1 + \alpha (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0,743 \text{ -}$$

$$\chi_y = \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{\Phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = 0,879 \text{ -}$$

$$\begin{aligned} z-z \quad L_{cr,z} &= 4250 \text{ mm} \\ i_z &= 55 \text{ mm} \\ \varepsilon &= 0,92 \text{ -} \\ \text{křivka } b &\text{ -} \\ \alpha &= 0,34 \text{ -} \end{aligned}$$

$$\lambda_1 = 93,9 \quad \varepsilon = 93,9 \cdot 0,92 = 86,388 \text{ -}$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} \cdot \frac{1}{\lambda_1} = \frac{4250}{55} \cdot \frac{1}{86,388} = 0,895 \text{ -}$$

$$\Phi_z = \frac{1}{2} [1 + \alpha (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2] = 1,018 \text{ -}$$

$$\chi_z = \frac{1}{\Phi_z + \sqrt{\Phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = 0,665 \text{ -}$$

#### Zkroucení:

$$\begin{aligned} L_{cr,T} &= 4250 \text{ mm} \\ i_0 &= 107 \text{ mm} \\ \varepsilon &= 0,92 \text{ -} \\ \text{křivka } a &\text{ -} \\ \alpha &= 0,21 \text{ -} \\ I_t &= 2,850 \cdot 10^5 \text{ mm}^4 \\ I_\omega &= 1,933 \cdot 10^{11} \text{ mm}^6 \end{aligned}$$

$$N_{CR,T} = \frac{1}{i_0^2} \left( GI_t + \frac{\pi^2 EI_{\omega}}{L_{cr,T}^2} \right) = \frac{1}{107^2} \left( 81 \cdot 2,850 \cdot 10^8 + \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 1,933 \cdot 10^{14}}{4250^2} \right) =$$

$$= \frac{1}{107^2} (2,3085 \cdot 10^{10} + 2,218 \cdot 10^{10}) = 3953,672 \quad \text{kN}$$

$$\bar{\lambda}_T = \sqrt{\frac{f_y A}{N_{cr,T}}} = \sqrt{\frac{275 \cdot 6430}{3953,672}} = 0,447 \quad -$$

$$\Phi_T = \frac{1}{2} [1 + \alpha(\bar{\lambda}_T - 0,2) + \bar{\lambda}_T^2] = 0,626 \quad -$$

$$\chi_T = \frac{1}{\Phi_T + \sqrt{\Phi_T^2 - \bar{\lambda}_T^2}} = 0,939 \quad -$$

Vzpěrné únosnosti:

$$N_{Rd,y} = \frac{\chi_y \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,879 \cdot 6430 \cdot 275}{1,0} = 1554,291 \quad \text{kN}$$

$$N_{Ed,max}/N_{Rd,y} = -135,99/1554,291 = 0,088 \quad -$$

(9%)

$$N_{Rd,z} = \frac{\chi_y \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,665 \cdot 6430 \cdot 275}{1,0} = 1175,886 \quad \text{kN}$$

$$N_{Ed,max}/N_{Rd,z} = -135,99/1175,886 = 0,116 \quad -$$

(12%)

$$N_{Rd,T} = \frac{\chi_T \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,939 \cdot 6430 \cdot 275}{1,0} = 1660,387 \quad \text{kN}$$

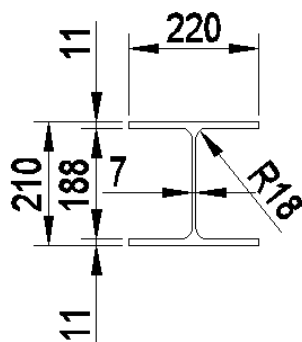
$$N_{Ed,max}/N_{Rd,T} = -135,99/1660,387 = 0,082 \quad -$$

(9%)

Profil příčnicku HEA220 vyhoví pro maximální normálovou sílu.

#### 9.2.4 Posouzení na posouvající sílu

HEA220



$$A_v = A - 2b_t + (t_w + 2r) t_f = 6430 - 2 \cdot 220 \cdot 11 + (7 + 2 \cdot 18) 11 = 2063 \quad \text{mm}^2$$

$$A_v > \eta \cdot h_w t_w = 1,0 \cdot 188 \cdot 7 = 1316 \quad \text{mm}^2$$

$$V_{z,pl,Rd} = \frac{A_v \left( \frac{f_y}{\sqrt{3}} \right)}{\gamma_{M0}} = \frac{2063 \cdot 275}{\sqrt{3}} = 327,545 \quad \text{kN}$$

$$V_{z,Ed,max}/V_{z,pl,Rd} = 63,1/327,545 = 0,193 \quad -$$

(20%)

Navržený příčník vyhoví pro namáhání smykem ve směru z, a to bez nutnosti redukce momentové únosnosti  $M_{y,Rd}$ .

Smyk ve směru y je přenášén pásnicemi, jejich plocha je cca 3x větší než plocha stojiny, proto lze předpokládat, že v tomto směru průřez vyhoví na smyk s dostatečnou rezervou.

### 9.2.5 Posouzení pro ohybové momenty

Klopení příčnicku je zabráněno připojením trapézového plechu v každé vlně.

**Dvouosý ohyb:**

<b>y-y</b>	$W_{y,pl} =$	$5,680 \cdot 10^5$	$\text{mm}^3$
	$f_y =$	275	MPa
	$\gamma_{M0} =$	1,0	-
	$M_{y,Rd} = \frac{f_y \cdot W_{y,pl}}{\gamma_{M0}} = \frac{275 \cdot 5,680 \cdot 10^2}{1,0} =$	156,2	kNm
	$M_{y,Ed,max} / M_{y,Rd} = 85,05 / 156,2 =$	0,545	-
		(55%)	
<b>z-z</b>	$W_{z,pl} =$	$2,720 \cdot 10^5$	$\text{mm}^3$
	$f_y =$	275	MPa
	$\gamma_{M0} =$	1,0	-
	$M_{z,Rd} = \frac{f_y \cdot W_{z,pl}}{\gamma_{M0}} = \frac{275 \cdot 2,720 \cdot 10^2}{1,0} =$	74,8	kNm
	$M_{z,Ed,max} / M_{z,Rd} = 10,26 / 74,8 =$	0,138	-
		(14%)	

Navržený profil příčnicku vyhoví na namáhání ohybovými momenty.

### 9.2.6 Posouzení na kombinované namáhání ohybem a normálovou silou

Posouzení kombinace namáhání ohybem a normálovou silou je provedeno podle ČSN EN 1993-1-1, veškeré odkazy v této kapitole jsou vztaženy k této normě, není-li dáno jinak.

Vzhledem k různorodému průběhu vnitřních sil pro různé pozice příčníků je zvolen konzervativní přístup a interakční součinitele jsou brány:

$$k_{yy}, k_{yz}, k_{zz}, k_{zy} = 1,0$$

$$\frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{yy} \frac{\frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{yz} \frac{\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}}}{\gamma_{M1}} \leq 1,0 \quad (6.61)$$

$$\frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{zy} \frac{\frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{zz} \frac{\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}}}{\gamma_{M1}} \leq 1,0 \quad (6.61)$$

Pozn.: ze vzorců jsou vynechány přírůstky momentů od posunu těžištní osy vlivem redukce plochy průřezů třídy 4.

$$\frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} = \frac{N_{Ed}}{N_{Rd,y}} \quad \frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} = \frac{N_{Ed}}{N_{z,Rd}}$$

$$\frac{\frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rk}}}{\gamma_{M1}} = \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} \quad \frac{\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}}}{\gamma_{M1}} = \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} \quad \chi_{LT} = 1,0$$



PRVEK	PRŮŘEZ	JEDNOTKOVÉ POSUDKY PRO DANÉ KOMBINACE ZATÍŽENÍ							MAX
		1	2	3	4	5	6	7	
PŘÍČNÍK	HEA220	0,283	0,324	0,321	0,091	0,207	0,558	0,321	<b>0,558</b>

Tabulka 19 Jednotkové posudky příčnicku pro jednotlivé kombinace zatížení

Navržený příčník se může zdát značně předimenzovaný, avšak je zde velká nejistota při určování vzpěrné délky v tuhé ose příčnicku, kdy příčník je sice vetknutý do dolního prutu hlavního nosníku, avšak tuhost tohoto přípoje nezaručuje jistou hodnotu vzpěrné délky. Výpočet v programu Scia Engineer dokonce přiřazuje příčnicku vzpěrnou délku okolo 12,0m. Při použití této vzpěrné délky vypadají jednotkové posudky takto:

PRVEK	PRŮŘEZ	JEDNOTKOVÉ POSUDKY PRO DANÉ KOMBINACE ZATÍŽENÍ							MAX
		1	2	3	4	5	6	7	
PŘÍČNÍK	HEA220	0,374	0,324	0,411	0,091	0,207	0,558	0,411	<b>0,558</b>

Tabulka 20 Jednotkové posudky příčnicku pro jednotlivé kombinace zatížení při  $L_{y,vz} = 12,0$  m

Hlavním důvodem navržení takového profilu příčnicku je nutnost dostatečné tuhosti příčnicku s ohledem na posouzení tuhosti polorámu použité pro stanovení vzpěrné délky pro horní pás hlavního nosníku.

Posudky pro jednotlivé kombinace lze nalézt v PŘÍLOZE 1 statického výpočtu.

Navržený příčník vyhoví na kombinace namáhání ohybovým momentem a normálové síly pro posuzované kombinace zatížení.

### 9.2.7 Posouzení příčnicků na mezní stav použitelnosti

Mezní dovolený průhyb:  $L/250 = 5000/250 = 20$  mm

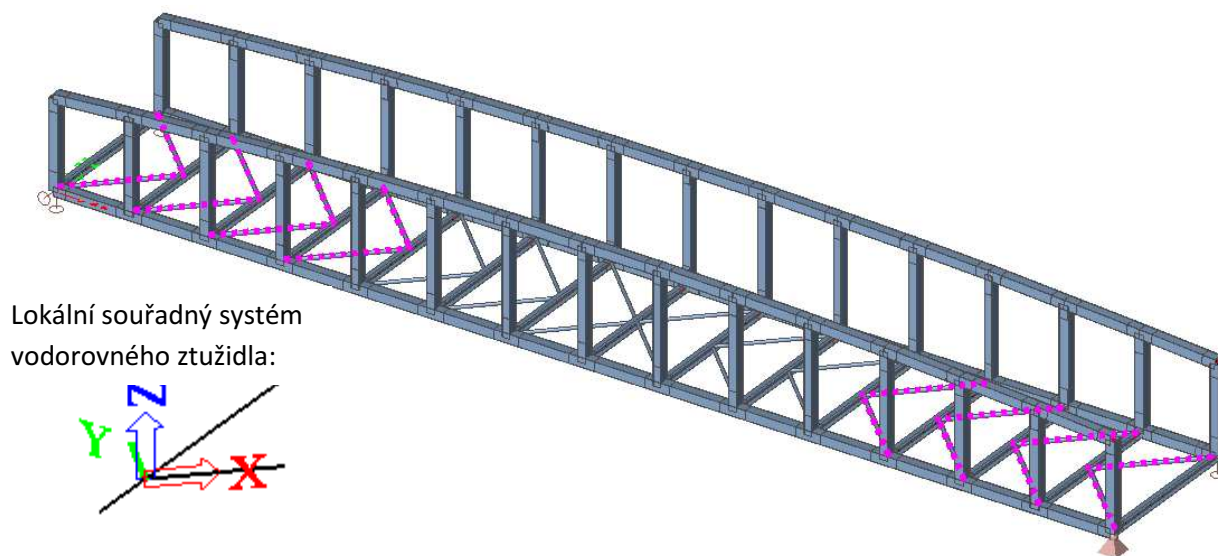
Mezní průhyb od charakteristické kombinace zatížení: CO6  $\delta = 11,4$  mm

Mezní průhyb od charakteristické kombinace zatížení: CO7  $\delta = 13,6$  mm

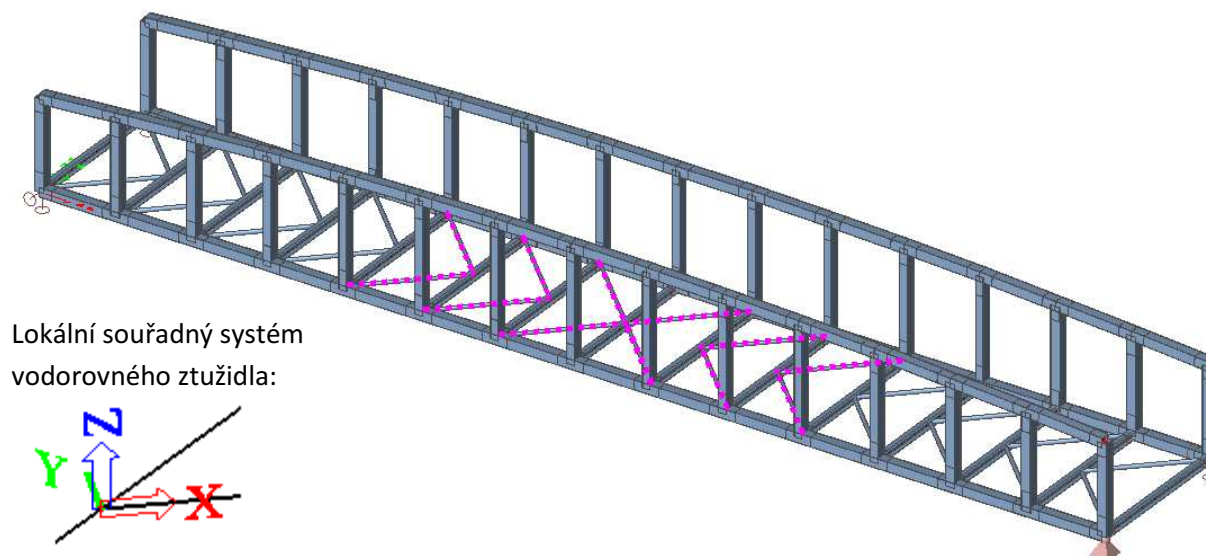
Navržený profil příčnicku vyhoví pro mezní stav použitelnosti.

## 9.4 Návrh a posouzení vodorovného ztužení

Jako profil vodorovného ztužení byla navržena kruhová trubka. Byly navrženy dva profily trubky a jejich umístění v modelu/konstrukci je patrné z obrázků níže.



Obr. 41 Schéma umístění vodorovného ztužidla PROFIL 1



Obr. 42 Schéma umístění vodorovného ztužidla PROFIL 2

## 9.4.1 Návrh a posouzení vodorovného ztužidla PROFIL 1

### 9.4.1.1 Návrhové hodnoty vnitřních sil

Vodorovné ztužení je na obou stranách připojeno kloubem.  
Posouzeno bude na mezní hodnoty normálových sil a to pro nejnepříznivější kombinaci zatížení. Hodnoty ostatních vnitřních sil jsou zanedbatelné.

$$N_{Ed} = \begin{array}{lll} -88,09 & \text{kN} & (\text{CO2/156}) \\ 89,19 & \text{kN} & (\text{CO2/30}) \end{array}$$

Rozhodující bude posudek na vzpěrnou únosnost.

### 9.4.1.2 Posouzení PROFILU 1 na vzpěr

**Navržený profil:** RO82.5x5

**Zatřídění průřezu:**

$$d = 82,5 \quad \text{mm}$$

$$t = 5 \quad \text{mm}$$

$$d/t = 82,5/5 = 16,5 \quad - \quad < 50\varepsilon^2 = 42,32$$

třída 1

**Průřezové charakteristiky:**

$$A = 1220 \quad \text{mm}^2$$

$$I = 9,180 \cdot 10^7 \quad \text{mm}^4$$

$$i = 27 \quad \text{mm}$$

$$L_{cr} = 3360 \quad \text{mm}$$

$$\varepsilon = 0,92 \quad -$$

$$\text{křivka } a \quad -$$

$$\alpha = 0,21 \quad -$$

**Posouzení mezní štíhlosti:**  $L_{cr}/i = 3360/27 = 124,44 \quad - \quad < 250$   
vyhoví

**Vzpěrná únosnost:**

$$\lambda_1 = 93,9 \quad \varepsilon = 93,9 \cdot 0,92 = 86,388 \quad -$$

$$\bar{\lambda} = \frac{L_{cr}}{i} \cdot \frac{1}{\lambda_1} = \frac{3360}{27} \cdot \frac{1}{86,388} = 1,441 \quad -$$

$$\Phi = \frac{1}{2} [1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 1,669 \quad -$$

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = 0,398 \quad -$$

$$N_{Rd,y} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,398 \cdot 1220 \cdot 275}{1,0} = 133,529 \quad \text{kN}$$

$$N_{Ed,max}/N_{Rd,y} = -88,09/133,529 = 0,66 \quad -$$

(66%)

Navržený profil ztužidla vyhoví na namáhání vzpěrným tlakem.

## 9.4.2 Návrh a posouzení vodorovného ztužidla PROFIL 2

### 9.4.2.1 Návrhové hodnoty vnitřních sil

Vodorovné ztužení je na obou stranách připojeno kloubem.  
Posouzeno bude na mezní hodnoty normálových sil a to pro nejnepříznivější kombinaci zatížení. Hodnoty ostatních vnitřních sil jsou zanedbatelné.

$$N_{Ed} = \begin{matrix} -45,12 & \text{kN} & (\text{CO2/156}) \\ 62,45 & \text{kN} & (\text{CO2/136}) \end{matrix}$$

Rozhodující bude posudek na vzpěrnou únosnost.

### 9.4.2.2 Posouzení PROFILU 2

**Navržený profil:** RO63.5x5

**Zatřídění průřezu:**

$$d = 63,5 \quad \text{mm}$$

$$t = 5 \quad \text{mm}$$

$$d/t = 63,5/5 = 12,7 \quad - \quad < 50\varepsilon^2 = 42,32$$

třída 1

**Průřezové charakteristiky:**

$$A = 919 \quad \text{mm}^2$$

$$I = 3,960 \cdot 10^7 \quad \text{mm}^4$$

$$i = 21 \quad \text{mm}$$

$$L_{cr} = 3360 \quad \text{mm}$$

$$\varepsilon = 0,92 \quad -$$

$$\text{křivka } a \quad -$$

$$\alpha = 0,21 \quad -$$

**Posouzení mezní štíhlosti:**  $L_{cr}/i = 3360/21 = 160 \quad - \quad < 250$   
vyhoví

**Prostý tah/tlak:**

$$N_{Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{919 \cdot 275}{1,0} = 252,725 \quad \text{kN}$$

$$N_{Ed,max}/N_{Rd,y} = 62,45/252,725 = 0,248 \quad -$$

(25%)

**Vzpěrná únosnost:**

$$\lambda_1 = 93,9 \quad \varepsilon = 93,9 \cdot 0,92 = 86,388 \quad -$$

$$\bar{\lambda} = \frac{L_{cr}}{i} \cdot \frac{1}{\lambda_1} = \frac{3360}{21} \cdot \frac{1}{86,388} = 1,853 \quad -$$

$$\Phi = \frac{1}{2} [1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 2,391 \quad -$$

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = 0,256 \quad -$$

$$N_{Rd,y} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,256 \cdot 919 \cdot 275}{1,0} = 64,794 \text{ kN}$$

$$N_{Ed,max}/N_{Rd,y} = -45,12/64,794 = 0,697 \quad -$$

(70%)

Navržený profil ztužidla vyhoví na namáhání vzpěrným tlakem.

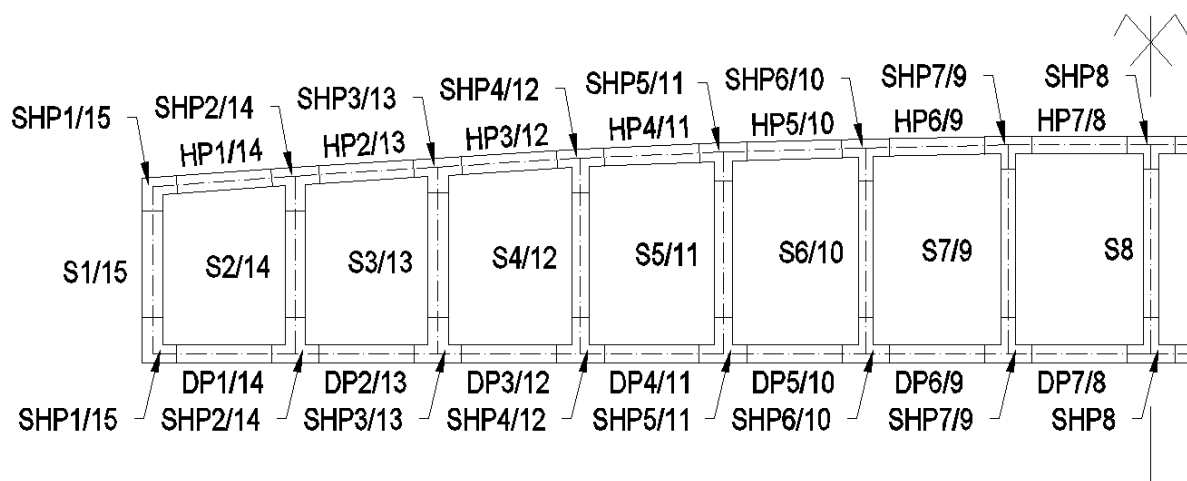
#### 9.4.3 Posouzení vodorovného ztužidla na mezní stav použitelnosti

Profil vodorovného ztužidla je zatížen výhradně osovou silou. Ohyb je způsoben pouze vlastní hmotností profilu a ten vyvoluje pouze zanedbatelné hodnoty svislého průhybu.

Profily navržené pro vodorovné ztužidlo vyhoví na 2. mezní stav.

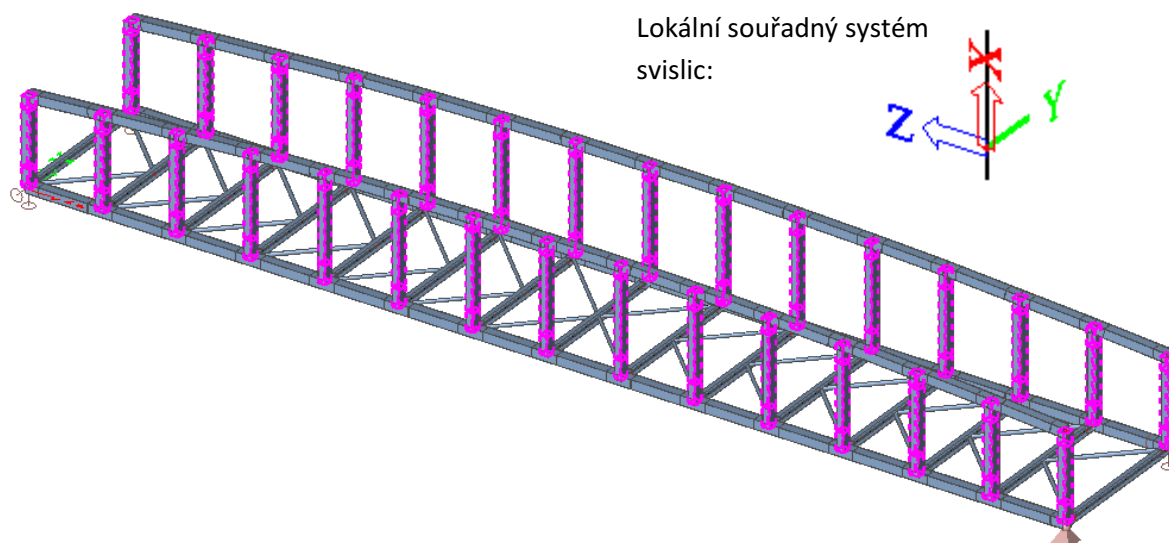
#### 9.5 Návrh a posouzení hlavního nosníku

Hlavní nosníky jsou složeny ze svařovaných dílců z plechu. Jednotlivé díly jsou spojeny mezi sebou tupými svary s plným průvarem a to buď prováděnými v dílně, tvořícími jednotlivé přepravní celky, nebo montážními svary, prováděnými na stavbě. Únosnost takového spoje je brána jako únosnost méně únosného spojovaného průřezu.



Obr. 43 Schéma posuzovaných prvků hlavního nosníku

### 9.5.1 Návrh a posouzení jednotlivých částí svislic



Obr. 44 Svislice a svislicové části stýčníků v modelu konstrukce

V této kapitole jsou navrženy a posouzeny jednotlivé svislice S1 až S15 a také svislicové části stýčníků horního a dolního pasu. Detailně je popsán výpočet pro svislice S3/S13. Tímto postupem jsou poté posouzeny ostatní svislice a svislicové části stýčníků a uvedeny jsou pouze zjednodušené posudky. Detailní postupy posouzení lze najít v PŘÍLOZE 1 statického posudku. Svislice a svislicové části stýčnicku jsou namáhány výhradně ohybem, mimo svislice S1 a S15.

Svislice S1/S15 a svislicové části stýčníků SHP1/SH15 a SDP1/SDP15 jsou jako jediné vystavené namáhání vzpěrným tlakem. Jsou posouzeny stejně jako pruty horního pasu, viz dále.

#### 9.5.1.1 Vzorový výpočet - svislice S3/S13

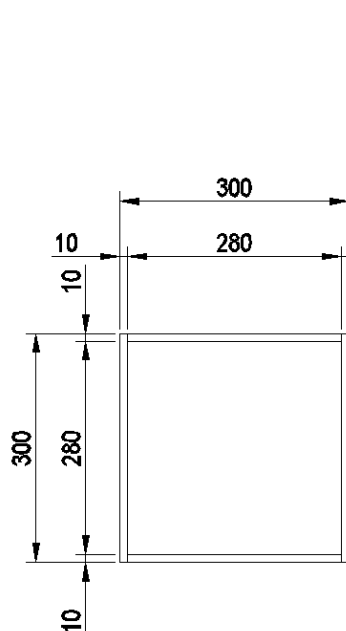
Veškeré odkazy v tomto vzorovém výpočtu se vztahují k normě ČSN EN 1993-1-1, pokud není udáno jinak.

#### (1) Vnitřní síly pro posouzení průřezu svislice S3/S13

		Kombinace	N [kN]	V <sub>y</sub> [kN]	V <sub>z</sub> [kN]	M <sub>x</sub> [kNm]	M <sub>y</sub> [kNm]	M <sub>z</sub> [kNm]
1	N <sub>max</sub>	CO3/39	<b>27,8</b>	-0,53	-239,69	1,88	-283,86	0,49
2	V <sub>y,max</sub>	CO1/6	11,69	<b>4,3</b>	132,15	-1,89	-129,39	-6,94
3	V <sub>z,max</sub>	CO2/32	25,05	-1,32	<b>248,13</b>	-0,94	-242,98	3,25
4	M <sub>y,max</sub>	CO3/20	27,8	-0,53	-239,69	1,88	<b>-283,86</b>	0,49
5	M <sub>y,max</sub>	CO3/34	27,58	-0,53	242,24	-1,88	<b>292,68</b>	0,49
6	M <sub>z,max</sub>	CO2/45	16,83	3,07	170,6	-4,16	-167,09	<b>-6,94</b>
7	M <sub>x,max</sub>	CO2/13	12,17	-0,7	151,85	<b>6,84</b>	-148,7	1,91

Tabulka 21 Vnitřní síly pro posouzení svislice S3/S13

## (2) Navržený průřez, průřezové charakteristiky a zatřídění průřezu



Navržený průřez: **300x300x10 [mm]**

Průřezové charakteristiky:

$h = 300$  mm

$b = 300$  mm

$t = 10$  mm

$A = 11600$  mm<sup>2</sup>

$A_{v,y} = 5600$  mm<sup>2</sup>

$A_{v,z} = 6000$  mm<sup>2</sup>

$A_{v,x} = 84100$  mm<sup>2</sup>

$I_y = 1,628 \cdot 10^8$  mm<sup>4</sup>

$I_z = 1,628 \cdot 10^8$  mm<sup>4</sup>

$i_y = 118$  mm

$i_z = 118$  mm

$W_{y,el} = 1,085 \cdot 10^6$  mm<sup>2</sup>

$W_{z,el} = 1,085 \cdot 10^6$  mm<sup>2</sup>

$W_{y,pl} = 1,262 \cdot 10^6$  mm<sup>2</sup>

$W_{z,pl} = 1,262 \cdot 10^6$  mm<sup>2</sup>

Zatřídění průřezu:

$\epsilon = 0,92$  -

$c/t = (h - 2t)/t = (300 - 2 \cdot 10)/10 = 28 < 66,558 \Rightarrow$  třída 1 pro ohyb  
Průřez je klasifikován jako třída 1.

## (3) Posouzení na normálovou sílu

Posouzení na tah:

$A = 11600$  mm<sup>2</sup>

$f_y = 275$  MPa

$\gamma_{M0} = 1,0$  -

$N_{Rd,t} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{11600 \cdot 275}{1,0} = 3190,0$  kN

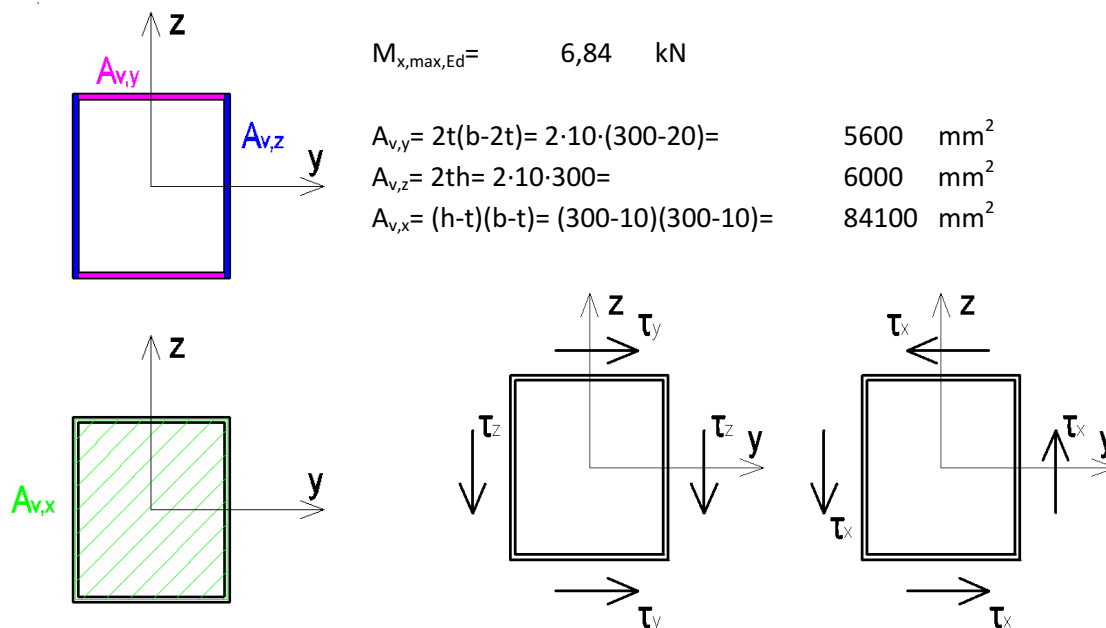
$N_{Ed,max}/N_{Rd,y} = 27,8/3190 = 0,009$  -  
(1%)

## (4) Posouzení na smyk

Posouzení na smykové namáhání je provedeno pro maximální hodnoty vnitřních sil způsobujících smyková napětí. Kroutící moment  $M_x$  způsobuje na uzavřeném průřezu pouze smyková napětí. Pokud by toto posouzení překročilo 50% únosnosti, budou posouzeny zvlášť jednotlivé kombinace.

$V_{y,max,Ed} = 4,3$  kN

$V_{z,max,Ed} = 248,13$  kN



Obr. 45 Smykové síly na uzavřeném průřezu

$$\tau_y = V_{y,max,Ed} / A_{v,y} = 4,3 \cdot 1000 / 5600 = 0,774 \text{ MPa}$$

$$\tau_z = V_{z,max,Ed} / A_{v,z} = 248,13 \cdot 1000 / 6000 = 41,355 \text{ MPa}$$

$$\tau_x = M_{x,max,Ed} / 2A_{v,x}t = 6,84 \cdot 10^6 / (2 \cdot 84100 \cdot 10) = 4,067 \text{ MPa}$$

$$\Sigma \tau_1 = \tau_y + \tau_x = 0,774 + 4,067 = 4,841 \text{ MPa}$$

$$\Sigma \tau_2 = \tau_z + \tau_x = 41,355 + 4,067 = 45,422 \text{ MPa}$$

$$\Sigma \tau_i \leq \frac{f_y}{\sqrt{3}\gamma_{M0}} = \frac{275}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 158,771 \text{ MPa}$$

$$\frac{\Sigma \tau_{i,max}}{f_y / \sqrt{3}\gamma_{M0}} = \frac{45,422}{158,771} = 0,286 \quad \text{Vyhoví (29\%)}$$

< 0,5 není třeba redukovat  $M_{Rd}$

Navržený průřez vyhoví bezpečně na kombinaci maximálních smykových namáhání bez nutnosti snížení únosnosti v ohybu.

## (5) Posouzení na ohyb

- třída průřezu 1
- uzavřený průřez není náchylný ke klopení

$$f_y = 275 \text{ MPa}$$

$$W_{y,pl} = 1,262 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

$$W_{z,pl} = 1,262 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

$$M_{i,Rd} = \frac{f_y W_{i,pl}}{\gamma_{M0}} \quad M_{y,Rd} = \frac{275 \cdot 1,262 \cdot 10^6}{1,0} = 347,05 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Rd} = \frac{275 \cdot 1,262 \cdot 10^6}{1,0} = 347,05 \text{ kNm}$$



$$M_{y,max,Ed} = 292,68 \text{ kNm}$$

$$M_{z,max,Ed} = -6,94 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned} M_{i,max,Ed}/M_{i,Rd} &\leq 1,0 & M_{y,max,Ed}/M_{y,Rd} &= 292,68/347,05 = 0,844 &- \\ & & M_{z,max,Ed}/M_{z,Rd} &= 6,94/347,05 = 0,020 &- \end{aligned}$$

Průřez vyhoví na namáhání maximálními ohybovými momenty.

#### (6) Posouzení namáhání kombinací normálových sil a ohybových momentů

Posouzení je provedeno podle ČSN EN 1993-1-1, příloha B, metoda 2. Všechny níže uvedené odkazy se vztahují k této normě, není-li dáno jinak.

Předpis kombinace:

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed}}{\frac{\chi_{LT} M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1,0 \quad (6.61)$$

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed}}{\frac{\chi_{LT} M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \frac{M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1,0 \quad (6.61)$$

Pozn.: ze vzorců jsou vynechány přírůstky momentů od posunu těžištní osy vlivem redukce plochy průřezů třídy 4.

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} = \frac{N_{Ed}}{N_{Rd,y}} \quad \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} = \frac{N_{Ed}}{N_{z,Rd}}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{\frac{\chi_{LT} M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} = \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} \quad \frac{M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} = \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} \quad \chi_{LT} = 1,0$$

Hodnoty součinitelů  $k_{ij}$ :

Hodnoty součinitelů jsou stanoveny podle přílohy B, metody 2 normy.

Zjednodušeně bereme hodnoty  $k_{yy}$  a  $k_{zz}$  rovny 1 a dále:

$$k_{yz} = 0,6k_{zz}$$

$$k_{zy} = 0,6k_{yy}$$

[Tabulka B.1]

Tento postup je podle autora a vzhledem k posuzování jen omezeného počtu kombinací na jednotlivém prutu bezpečný a zároveň se výsledky nebudou značně lišit od výsledků dosažených pomocí podrobného postupu.

Posudek pro vybranou kombinaci zatížení:

CO3/34	N [kN]		$M_y$ [kNm]		$M_z$ [kNm]	$\Sigma$
Ed	27,580		292,680		0,490	
		$M_{Rd,y}$	347,050	$M_{Rd,z}$	347,050	
		$k_{yy}$	1,000	$k_{yz}$	0,600	
$N_{Rd,t}$	3190,000	$k_{zy}$	0,600	$k_{zz}$	1,000	
(6.61)	0,009		0,843		0,001	0,853
(6.62)	0,009		0,506		0,001	0,516

Tabulka 22 Jednotkový posudek pro vybranou kombinaci zatížení

Navržený průřez vyhoví na kombinace namáhání ohybovým momentem a normálovou silou.

#### 9.5.1.2 Tabulka jednotkových posudků pro svislice

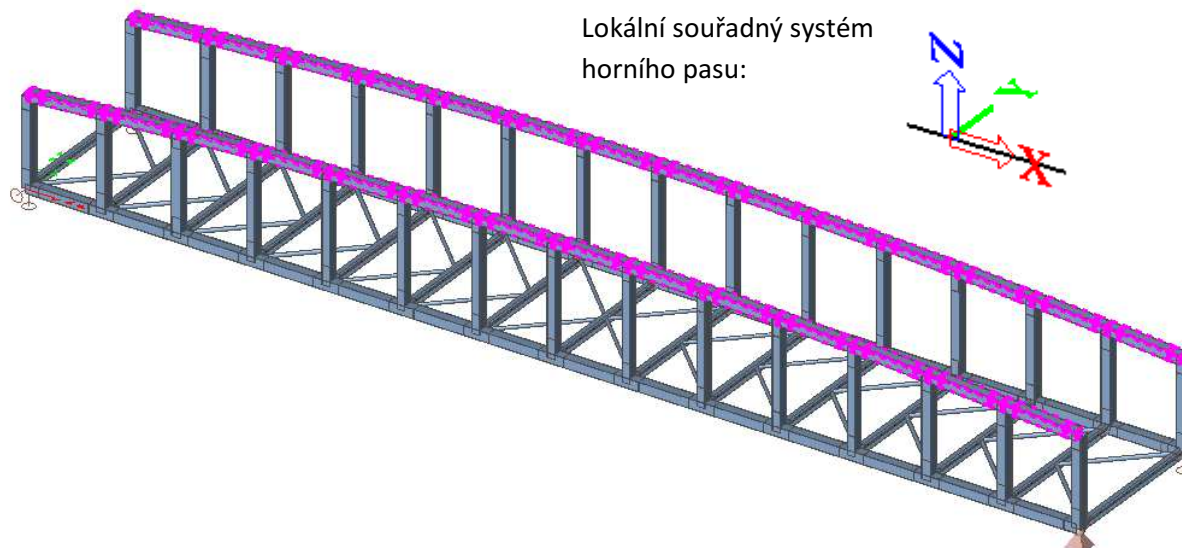
Podrobný postup posouzení, shodný se vzorovým posouzením lze nalézt pro každý prvek v PŘÍLOZE 1 statického výpočtu.

PRVEK	PRŮŘEZ	JEDNOTKOVÉ POSUDKY PRO DANÉ KOMBINACE ZATÍŽENÍ							MAX
		1	2	3	4	5	6	7	
S1/S15	300x300x10	0,477	0,314	0,617	0,716	0,666	0,366	0,291	0,716
S2/S14	300x300x12	0,720	0,373	0,677	0,706	0,720	0,481	0,411	0,720
S3/S13	300x300x10	0,827	0,388	0,714	0,827	0,853	0,499	0,436	0,853
S4/12	300x250x8	0,758	0,394	0,726	0,758	0,787	0,476	0,445	0,787
S5/S11	300x250x6	0,884	0,389	0,719	0,856	0,884	0,480	0,447	0,884
S6/S10	300x250x6	0,565	0,278	0,511	0,599	0,621	0,278	0,323	0,621
S7/S9	300x250x6	0,328	0,165	0,284	0,372	0,392	0,201	0,126	0,392
S8	300x250x6	0,020	0,027	0,107	0,170	0,188	0,035	0,102	0,188
SHP_S1/S15	300x300x14	0,484	0,253	0,466	0,703	0,663	0,346	0,254	0,703
SHP_S2/S14	300x300x16	0,877	0,317	0,524	0,869	0,877	0,449	0,315	0,877
SHP_S3/S13	300x300x14	0,825	0,354	0,596	0,825	0,846	0,485	0,364	0,846
SHP_S4/12	300x300x10	0,723	0,302	0,468	0,723	0,748	0,344	0,289	0,748
SHP_S5/S11	300x300x10	0,555	0,264	0,404	0,562	0,577	0,300	0,252	0,577
SHP_S6/S10	300x250x10	0,502	0,212	0,350	0,518	0,533	0,221	0,222	0,533
SHP_S7/S9	300x250x10	0,258	0,123	0,205	0,285	0,297	0,130	0,089	0,297
SHP_S8	300x250x10	0,012	0,007	0,075	0,124	0,136	0,015	0,075	0,136
SDP_S1/S15	300x300x14	0,589	0,372	0,723	0,684	0,673	0,433	0,351	0,723
SDP_S2/S14	300x300x16	0,456	0,476	0,868	0,874	0,882	0,614	0,526	0,882
SDP_S3/S13	300x300x14	0,472	0,456	0,839	0,841	0,862	0,456	0,513	0,862
SDP_S4/12	300x250x10	0,529	0,499	0,923	0,924	0,955	0,603	0,566	0,955
SDP_S5/S11	300x250x8	0,547	0,459	0,847	0,876	0,854	0,564	0,526	0,876
SDP_S6/S10	300x250x8	0,388	0,324	0,594	0,628	0,610	0,324	0,374	0,628
SDP_S7/S9	300x250x8	0,211	0,177	0,319	0,344	0,360	0,176	0,137	0,360
SDP_S8	300x250x8	0,018	0,028	0,116	0,164	0,150	0,030	0,113	0,164

Tabulka 23 Shrnutí jednotkových posudků pro svislice a svislicové části styčníků

Všechny průřezy svislic a svislicových částí styčníků vyhoví na namáhání od jednotlivých kombinací vnitřních sil.

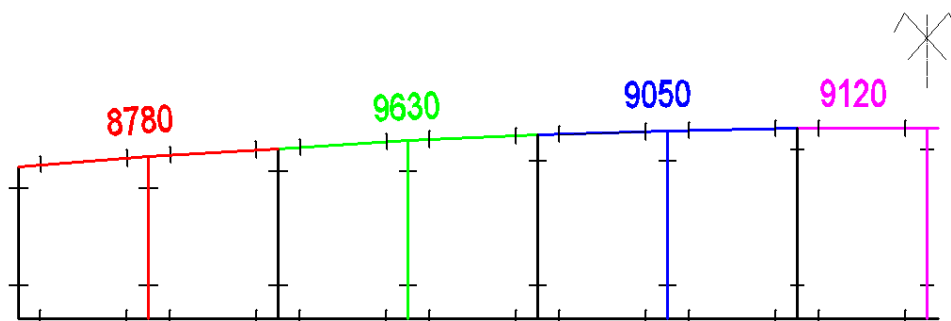
### 9.5.2 Návrh a posouzení jednotlivých částí horního pasu



Obr. 46 Horní pasy hlavních nosníků v modelu konstrukce

Pruty horního pasu a styčnickových částí horního pasu jsou namáhány ohybovými momenty a tlakovou silou. Je uveden vzorový posudek pro prut SHP6/SHP10, ostatní prvky horního pasu jsou posouzeny stejným způsobem a souhrn jednotkových posudků je uveden níže. Detailní posudky můžete nalézt v PŘÍLOZE 1 statického výpočtu, hodnoty ručního a automatizovaného posudku v programu Excel se mohou mírně lišit v důsledku zaokrouhlení hodnot.

Výpočet vzpěrných délek pro jednotlivé úseky horního pasu lze najít v PŘÍLOZE 2 statického výpočtu. Níže je pouze schéma s vypočtenou hodnotou pro danou oblast.



Obr. 47 Schéma vypočtených vzpěrných délek kolmo k rovině hlavního nosníku pro horní pasy

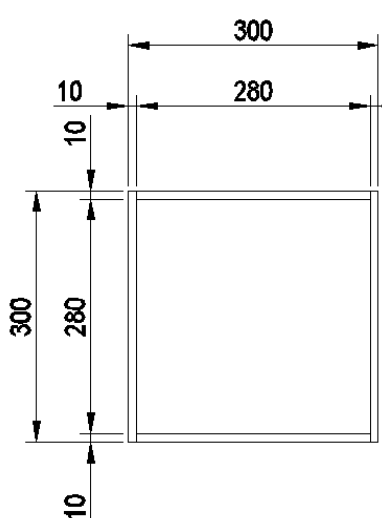
### 9.5.2.1 Vzorový výpočet – horní pas SHP6/SHP10

#### (1) Návrhové hodnoty vnitřních sil pro nejnepríznivějších kombinací zatížení

		Kombinace	N [kN]	V <sub>y</sub> [kNm]	V <sub>z</sub> [kNm]	M <sub>x</sub> [kNm]	M <sub>y</sub> [kNm]	M <sub>z</sub> [kNm]
1	N <sub>max</sub>	CO2/8	<b>-1097,72</b>	-0,33	-42	0,05	-10,22	0,16
2	V <sub>y,max</sub>	CO2/12	-624,18	<b>-2,06</b>	-45,01	4,9	58,23	5,6
3	V <sub>z,max</sub>	CO3/63	-981,92	0,12	<b>-75,1</b>	-0,83	116,87	-0,88
4	M <sub>y,max</sub>	CO2/30	-1023,8	-0,01	72,01	-0,13	<b>122,49</b>	-0,54
5	M <sub>y,max</sub>	CO3/40	-981,73	0,14	-74,69	-0,83	<b>147,18</b>	-0,95
6	M <sub>z,max</sub>	CO3/19	-527,26	0,73	36,37	-2,88	62,7	<b>39,61</b>
7	M <sub>x,max</sub>	CO2/13	-624,68	-1,87	44,92	<b>4,9</b>	57,97	-6,26

Obr. 48 Nejnepríznivější kombinace sil pro průřez SHP6/SHP10

#### (2) Navržený průřez, průřezové charakteristiky a zatřídění průřezu



Navržený průřez: **300x300x10 [mm]**

Průřezové charakteristiky:

h=	300	mm
b=	300	mm
t=	10	mm
A=	11600	mm <sup>2</sup>
A <sub>v,y</sub> =	5600	mm <sup>2</sup>
A <sub>v,z</sub> =	6000	mm <sup>2</sup>
A <sub>v,x</sub> =	84100	mm <sup>2</sup>
I <sub>y</sub> =	1,628·10 <sup>8</sup>	mm <sup>4</sup>
I <sub>z</sub> =	1,628·10 <sup>8</sup>	mm <sup>4</sup>
i <sub>y</sub> =	118	mm
i <sub>z</sub> =	118	mm
W <sub>y,el</sub> =	1,085·10 <sup>6</sup>	mm <sup>2</sup>
W <sub>z,el</sub> =	1,085·10 <sup>6</sup>	mm <sup>2</sup>
W <sub>y,pl</sub> =	1,262·10 <sup>6</sup>	mm <sup>2</sup>
W <sub>z,pl</sub> =	1,262·10 <sup>6</sup>	mm <sup>2</sup>

Zatřídění průřezu:

ε= 0,92 -

c/t= (h-2t)/t= (300-2·10)/10= 28,0 < 66,558 => třída 1 pro ohyb  
< 30,506 => třída 1 pro tlak

Průřez je klasifikován jako třída 1.

### (3) Posouzení na normálovou sílu

Rovinný vzpěr:

$$\begin{aligned} L_{cr,y} &= 2400 \text{ mm} & i_y &= 118 \text{ mm} \\ L_{cr,z} &= 9050 \text{ mm} & i_z &= 118 \text{ mm} \\ \text{křivka } c & & \alpha &= 0,49 \end{aligned}$$

$$\lambda_1 = 93,9\epsilon = 93,9 \cdot 0,92 = 86,388 \quad -$$

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{\lambda_1 i_y} = \frac{2400}{86,388 \cdot 118} = 0,236 \quad -$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{\lambda_1 i_z} = \frac{9050}{86,388 \cdot 118} = 0,888 \quad -$$

$$\phi_y = 0,5[1 + \alpha(\lambda_y - 0,2) + \lambda_y^2] = 0,537 \quad -$$

$$\phi_z = 0,5[1 + \alpha(\lambda_z - 0,2) + \lambda_z^2] = 1,063 \quad -$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \lambda_y^2}} = \frac{1}{0,537 + \sqrt{0,537^2 - 0,236^2}} = 0,981 \quad -$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \lambda_z^2}} = \frac{1}{1,063 + \sqrt{1,063^2 - 0,888^2}} = 0,607 \quad -$$

$$A = 11600 \text{ mm}^2$$

$$f_y = 275 \text{ MPa}$$

$$\gamma_{M1} = 1,0 \quad -$$

$$\chi_y = 0,981 \quad -$$

$$\chi_z = 0,607 \quad -$$

$$N_{Rd,i} = \frac{A \cdot f_y \cdot \chi_i}{\gamma_{M1}} \quad N_{Rd,y} = 3129,390 \text{ kN}$$

$$N_{Rd,z} = 1936,330 \text{ kN}$$

$$N_{\max,Ed} = -1097,72 \text{ kN}$$

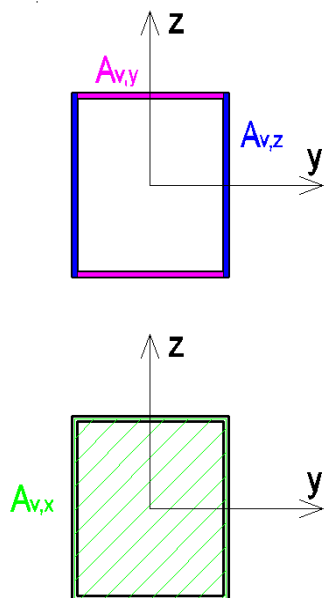
$$N_{\max,Ed} / N_{Rd,y} = 1097,72 / 3129,390 = 0,351 \quad - \quad (36\%)$$

$$N_{\max,Ed} / N_{Rd,z} = 1097,72 / 1936,330 = 0,567 \quad - \quad (57\%)$$

Průřez vyhoví pro namáhání maximální tlakovou normálovou silou.

#### (4) Posouzení na smyk

Posouzení na smykové namáhání je provedeno pro maximální hodnoty vnitřních sil způsobujících smyková napětí. Kroutící moment  $M_x$  způsobuje na uzavřeném průřezu pouze smyková naětí. Pokud by toto posouzení překročilo 50% únosnosti, budou posouzeny zvlášť jednotlivé kombinace.



$$V_{y,max,Ed} = -2,06 \text{ kN}$$

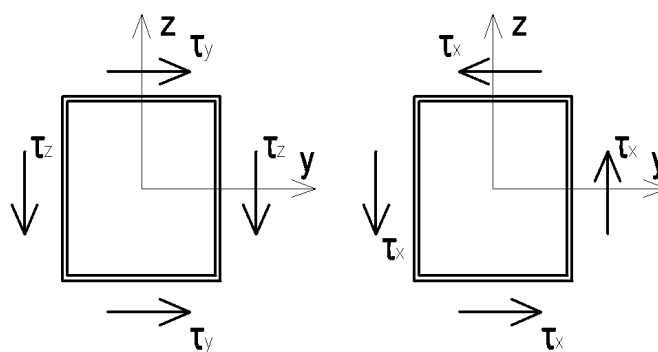
$$V_{z,max,Ed} = -75,1 \text{ kN}$$

$$M_{x,max,Ed} = 4,9 \text{ kN}$$

$$A_{v,y} = 2t(b-2t) = 2 \cdot 10 \cdot (300-20) = 5600 \text{ mm}^2$$

$$A_{v,z} = 2th = 2 \cdot 10 \cdot 300 = 6000 \text{ mm}^2$$

$$A_{v,x} = (h-t)(b-t) = (300-10)(300-10) = 84100 \text{ mm}^2$$



Obr. 49 Smykové síly na uzavřeném průřezu

$$\tau_y = V_{y,max,Ed} / A_{v,y} = 2,06 \cdot 1000 / 5600 = 0,368 \text{ MPa}$$

$$\tau_z = V_{z,max,Ed} / A_{v,z} = 75,1 \cdot 1000 / 6000 = 12,517 \text{ MPa}$$

$$\tau_x = M_{x,max,Ed} / 2A_{v,x}t = 4,9 \cdot 10^6 / (2 \cdot 84100 \cdot 10) = 2,914 \text{ MPa}$$

$$\Sigma \tau_1 = \tau_y + \tau_x = 0,368 + 2,914 = 3,282 \text{ MPa}$$

$$\Sigma \tau_2 = \tau_z + \tau_x = 12,517 + 2,914 = 15,431 \text{ MPa}$$

$$\Sigma \tau_i \leq \frac{f_y}{\sqrt{3}\gamma_{M0}} = \frac{275}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 158,771 \text{ MPa}$$

$$\frac{\Sigma \tau_{i,max}}{f_y / \sqrt{3}\gamma_{M0}} = \frac{15,431}{158,771} = 0,097 \text{ - Vyhoví (10\%)}$$

< 0,5 není třeba redukovat  $M_{Rd}$

Navržený průřez vyhoví bezpečně na kombinaci maximálních smykových namáhání bez nutnosti snížení únosnosti v ohybu.

## (5) Posouzení na ohyb

- třída průřezu 1
- uzavřený průřez není náchylný ke klopení

$$f_y = 275 \text{ MPa}$$

$$W_{y,pl} = 1,262 \cdot 10^6 \text{ mm}^2$$

$$W_{z,pl} = 1,262 \cdot 10^6 \text{ mm}^2$$

$$M_{i,Rd} = \frac{f_y W_{i,pl}}{\gamma_{M0}} \quad M_{y,Rd} = \frac{275 \cdot 1,262 \cdot 10^6}{1,0} = 347,05 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Rd} = \frac{275 \cdot 1,262 \cdot 10^6}{1,0} = 347,05 \text{ kNm}$$

$$M_{y,max,Ed} = 147,18 \text{ kNm}$$

$$M_{z,max,Ed} = 39,61 \text{ kNm}$$

$$M_{i,max,Ed}/M_{i,Rd} \leq 1,0 \quad M_{y,max,Ed}/M_{y,Rd} = 147,18/347,05 = 0,424 \quad -$$

$$M_{z,max,Ed}/M_{z,Rd} = 39,61/347,05 = 0,114 \quad -$$

Průřez vyhoví na namáhání maximálními ohybovými momenty.

## (6) Posouzení namáhání kombinací normálových sil a ohybových momentů

Posouzení je provedeno podle ČSN EN 1993-1-1, příloha B, metoda 2. Všechny níže uvedené odkazy se vztahují k této normě, není-li dáno jinak.

Předpis kombinace:

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed}}{\frac{\chi_{LT} M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1,0 \quad (6.61)$$

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed}}{\frac{\chi_{LT} M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \frac{M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1,0 \quad (6.61)$$

Pozn.: ze vzorců jsou vynechány přírůstky momentů od posunu těžištní osy vlivem redukce plochy průřezů třídy 4.

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} = \frac{N_{Ed}}{N_{Rd,y}} \quad \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} = \frac{N_{Ed}}{N_{z,Rd}}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{\frac{\chi_{LT} M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} = \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} \quad \frac{M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} = \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} \quad \chi_{LT} = 1,0$$

Hodnoty součinitelů  $k_{ij}$ :

Hodnoty součinitelů jsou stanoveny podle přílohy B, metody 2 normy.

Zjednodušeně bereme hodnoty  $k_{yy}$  a  $k_{zz}$  rovny 1 a dále:

$$k_{yz} = 0,6k_{zz}$$

$$k_{zy} = 0,6k_{yy}$$

[Tabulka B.1]

Tento postup je podle autora a vzhledem k posuzování jen omezeného počtu kombinací na jednotlivém prutu bezpečný a zároveň se výsledky nebudou značně lišit od výsledků dosažených pomocí podrobného postupu.

Posudek pro vybranou kombinaci zatížení:

CO3/40	N [kN]		$M_y$ [kNm]		$M_z$ [kNm]	$\Sigma$
Ed	-981,730		147,180		-0,950	
$N_{Rd,y}$	3134,297	$M_{Rd,y}$	347,050	$M_{Rd,z}$	347,050	
$N_{Rd,z}$	1945,802	$k_{yy}$	1,000	$k_{yz}$	0,600	
		$k_{zy}$	0,600	$k_{zz}$	1,000	
(6.61)	0,313		0,424		0,002	0,739
(6.62)	0,505		0,254		0,003	0,762

Tabulka 24 Jednotkový posudek pro vybranou kombinaci zatížení

Navržený průřez vyhoví na kombinace namáhání ohybovým momentem a normálovou silou.



### 9.5.2.2 Tabulka jednotkových posudků pro pruty horních pasů

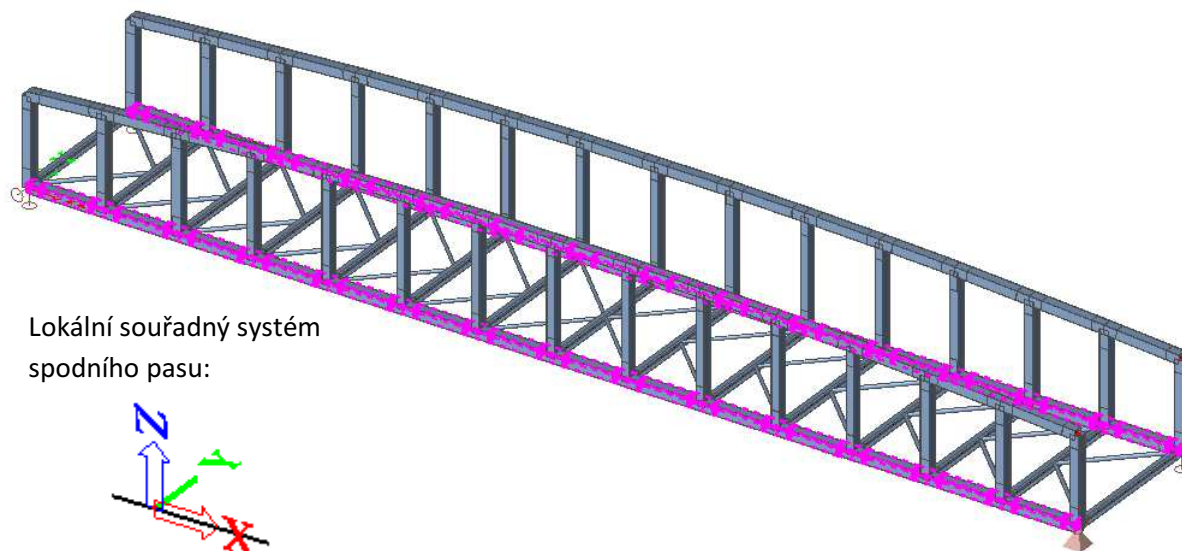
Podrobný postup posouzení, shodný se vzorovým posouzením lze nalézt pro každý prvek v PŘÍLOZE 1 statického výpočtu.

PRVEK	PRŮŘEZ	JEDNOTKOVÉ POSUDKY PRO DANÉ KOMBINACE ZATÍŽENÍ							MAX
		1	2	3	4	5	6	7	
SHP1/15	300x300x14	0,703	0,256	0,634	0,703	0,662	0,256	0,348	<b>0,703</b>
SHP2/14	300x300x16	0,520	0,279	0,370	0,553	0,539	0,231	0,188	<b>0,553</b>
SHP3/13	300x300x14	0,565	0,273	0,456	0,598	0,608	0,360	0,353	<b>0,608</b>
SHP4/12	300x300x10	0,704	0,369	0,584	0,721	0,690	0,460	0,397	<b>0,721</b>
SHP5/11	300x300x10	0,651	0,413	0,685	0,735	0,760	0,490	0,515	<b>0,760</b>
SHP6/10	300x300x10	0,582	0,438	0,709	0,739	0,762	0,494	0,439	<b>0,762</b>
SHP7/9	300x300x10	0,640	0,445	0,714	0,744	0,722	0,485	0,464	<b>0,744</b>
SHP8	300x300x10	0,702	0,518	0,535	0,702	0,723	0,474	0,488	<b>0,723</b>
HP1/14	300x300x10	0,702	0,295	0,602	0,702	0,570	0,341	0,350	<b>0,702</b>
HP2/13	300x300x10	0,597	0,387	0,527	0,646	0,623	0,399	0,372	<b>0,646</b>
HP3/12	300x300x10	0,648	0,342	0,592	0,648	0,668	0,411	0,339	<b>0,668</b>
HP4/11	300x300x10	0,651	0,338	0,589	0,690	0,719	0,504	0,431	<b>0,719</b>
HP5/10	300x300x10	0,568	0,302	0,515	0,689	0,710	0,467	0,356	<b>0,710</b>
HP6/9	300x300x10	0,552	0,300	0,563	0,666	0,687	0,456	0,428	<b>0,687</b>
HP7/8	300x300x10	0,690	0,417	0,460	0,691	0,708	0,468	0,486	<b>0,708</b>

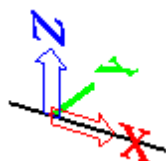
Tabulka 25 Shrnutí jednotkových posudků pro pruty horních pasů hlavních nosníků

Všechny pruty horních pasů vyhoví na namáhání od vnitřních sil pro dané kombinace zatížení.

### 9.5.3 Návrh a posouzení jednotlivých částí dolního pasu



Lokální souřadný systém  
spodního pasu:



Obr. 50 Dolní pasy hlavních nosníků v modelu konstrukce

Pruty dolního pasu a styčnickových částí dolního pasu jsou namáhány ohybovými momenty a normálovou silou. Toto namáhání je shodné

s namáhání svislic a proto zde není pro veden vzorový výpočet a autor se odkazuje na vzorový výpočet pro svislice. Jediný rozdíl je v podílu normálové síly na hodnotě jednotkového posudku, který je u prutů spodního pasu vyšší než u svislic. Detailní posudky můžete nalézt v PŘÍLOZE 1 statického výpočtu. Níže je uvedena tabulka s přehledem jednotkových posudků pro dané prvky dolního pasu.

Prvky s označením DP1/DP14, SDP1/SDP15 a SDP2/SDP14 jsou, jako všechny prvky spodních pasů, součástí vodorovného ztužidla, ale pouze tyto prvky mohou být namáhány tlakovou normálovou silou a musí být posouzeny na vzpěrný tlak. Ukáže se však, že toto namáhání není pro posouzení prvku rozhodující ani při zvýšení vzpěrné délky ne troj až čtyřnásobek. Tyto prvky jsou posouzeny stejně jako prvky horních pasů a pro vzorový výpočet se autor odkazuje na část posouzení horních pasů.

#### 9.5.3.1 Tabulka jednotkových posudků pro pruty dolních pasů

Podrobný postup posouzení, shodný se vzorovým posouzením lze nalézt pro každý prvek v PŘÍLOZE 1 statického výpočtu.

PRVEK	PRŮŘEZ	JEDNOTKOVÉ POSUDKY PRO DANÉ KOMBINACE ZATÍŽENÍ							MAX
		1	2	3	4	5	6	7	
SDP1/15	300x300x14	0,262	0,359	0,345	0,647	0,705	0,396	0,412	<b>0,705</b>
SDP2/14	300x300x16	0,264	0,382	0,208	0,372	0,545	0,301	0,224	<b>0,545</b>
SDP3/13	300x300x14	0,464	0,278	0,456	0,597	0,609	0,608	0,245	<b>0,609</b>
SDP4/12	300x300x10	0,505	0,333	0,537	0,636	0,696	0,297	0,290	<b>0,696</b>
SDP5/11	300x300x8	0,516	0,456	0,712	0,819	0,897	0,388	0,522	<b>0,897</b>
SDP6/10	300x300x8	0,507	0,312	0,755	0,813	0,858	0,469	0,509	<b>0,858</b>
SDP7/9	300x300x8	0,529	0,509	0,720	0,734	0,782	0,537	0,460	<b>0,782</b>
SDP8	300x300x8	0,643	0,446	0,521	0,644	0,693	0,420	0,397	<b>0,693</b>
DP1/14	300x300x10	0,266	0,388	0,330	0,614	0,698	0,317	0,394	<b>0,698</b>
DP2/13	300x300x10	0,557	0,414	0,518	0,620	0,623	0,389	0,361	<b>0,623</b>
DP3/12	300x300x10	0,486	0,438	0,562	0,608	0,658	0,398	0,396	<b>0,658</b>
DP4/11	300x300x8	0,680	0,396	0,526	0,680	0,724	0,393	0,435	<b>0,724</b>
DP5/10	300x300x8	0,714	0,379	0,436	0,715	0,755	0,508	0,448	<b>0,755</b>
DP6/9	300x300x8	0,449	0,469	0,468	0,677	0,720	0,500	0,425	<b>0,720</b>
DP7/8	300x300x8	0,621	0,244	0,369	0,622	0,665	0,421	0,397	<b>0,665</b>

Tabulka 26 Shrnutí jednotkových posudků pro pruty dolních pasů hlavních nosníků

Všechny pruty dolních pasů vyhoví na namáhání od vnitřních sil pro dané kombinace zatížení.

#### 9.5.4 Posudek hlavních nosníků na mezní stav použitelnosti

##### Svislý průhyb

Mezní dovolený svislý průhyb:  $L/250 = 33600/250 = 134$  mm

Maximální svislý průhyb od charakteristické kombinace zatížení: CO6  $\delta = 105,8$  mm

Maximální svislý průhyb od charakteristické kombinace zatížení: CO7  $\delta = 103,1$  mm

##### Vodorovná deformace:

Maximální vodorovná deformace horního pasu lávky  
CO6  $\delta = 38,3$  mm  
CO7  $\delta = 39,7$  mm

Autor si uvědomuje, že hodnoty těchto deformací jsou větší než normou doporučená hodnota mezní deformace

$$\delta = L/150 = 3500/150 = 23,333 \text{ mm}$$

Avšak po konzultaci a zvážení vlivu na provoz lávky bylo rozhodnuto, že hodnota mezní vodorovné deformace pro dané kombinace je pro danou konstrukci přípustná, i když nesplňuje normou doporučené hodnoty.

Navržené hlavní nosníky vyhoví pro mezní stav použitelnosti pro dané charakteristické kombinace zatížení.

#### 9.5.5 Shrnutí

Návrh a posouzení prvků hlavních nosníků byl proveden podle teorie plasticity, avšak některé navržené průřezy by vyhověly i pro teorii elasticity. Zvětšení průřezů bylo nutné k zajištění tuhosti konstrukce, čemuž bude vyšší pozornost věnována v části dynamického posudku lávky.

Dále jsou některé prvky navrženy s ohledem na nutnost udržení určité tuhosti polorámu konstrukce lávky a zajištění použitelných hodnot vzpěrných délek, jejichž výpočet vychází z této tuhosti.

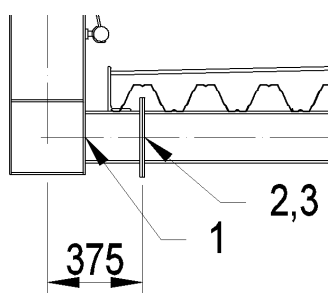
## 9.6 Návrh a posouzení spojů

### 9.6.1 Tupé svary hlavních nosníků

Hlavní nosníky jsou tvořeny jednotlivými svařovanými pruty a uzly z plechu. Jednotlivé prvky tvořící hlavní nosníky jsou mezi sebou spojovány tupými svary tvaru Y s plným průvarem. Tyto svary jsou povětšinou prováděny ve výrobě s vizuální kontrolou provedení svaru. Ve čtyřech místech jsou jednotlivé hlavní nosníky rozděleny pro přepravu. Sestaveny jsou na staveništi a to svařením stejným typem svaru Y s plným průvarem.

Únosnost tupého svaru s plným průvarem je brána jako návrhová únosnost slabšího ze dvou spojovaných prvků, v tomto případě slabšího ze spojovaných uzavřených průřezů.

### 9.6.2 Návrh a posouzení přípoje příčnicku



V této kapitole budou řešeny tři přípoje příčnicku:

- 1) Svařovaný přípoj krajních částí příčnicku na hlavní nosník
- 2) Svařovaný přípoj střední části příčnicku na čelní desku
- 3) Šroubovaný montážní přípoj částí příčnicků

Tyto přípoje jsou řešeny podle ČSN EN 1993-1-8, a všechny odkazy a označení vzorců jsou vztaženy k této normě, není-li udáno jinak.

#### 9.6.2.1 Svařovaný přípoj krajních částí příčnicku na hlavní nosník

##### Materiál:

Přídavný materiál pro svařování bude zvolen tak, aby jeho vlastnosti byly stejné nebo lepší než pro základní ocel S275.

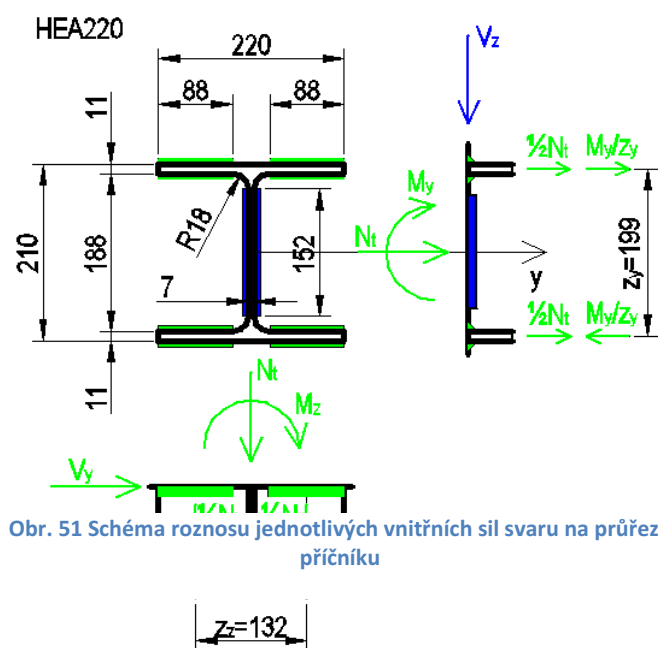
$f_y =$	275	MPa	
$f_u =$	430	MPa	
$\beta_w =$	0,85	-	(Tabulka 4.1)
$\gamma_{M2} =$	1,25	-	

##### Návrhové vnitřní síly:

	Kombinace	N [kN]	$V_y$ [kN]	$V_z$ [kN]	$M_y$ [kNm]	$M_z$ [kNm]
$N_{t,max}$	CO2/155	<b>135,47</b>	-60,25	6,61	20,29	8,77
$V_{y,max}$	CO2/30	134,60	<b>-65,30</b>	13,55	22,31	10,18
$V_{z,max}$	CO2/29	0,80	11,14	<b>63,10</b>	-6,86	-1,29
$M_{y,max}$	CO2/155	3,99	-56,26	-44,51	<b>-14,09</b>	-8,55
$M_{y,max}$	CO2/157	9,57	2,64	36,35	<b>31,05</b>	0,00
$M_{z,max}$	CO2/30	134,60	<b>-65,30</b>	13,55	22,31	10,18

Tabulka 27 Hodnoty vnitřních sil pro návrh přípoje příčnicku

Bude proveden vzorový výpočet pro vybranou kombinaci a ostatní kombinace budou zpracovány tabulkově.



Obr. 51 Schéma roznosu jednotlivých vnitřních sil svaru na průřezu příčnicku

### Schéma zjednodušeného přenášení sil svary:

Na svary působí kombinace namáhání ohybovými momenty ve dvou hlavních osách, normálové síly a posouvající síly ve dvou hlavních směrech. Níže je popsáno zjednodušené rozdělení svarů na průřezu příčnicku pro přenos daných sil.

Navrženy budou dvě velikosti kořene svaru „a“ a to:

- (A)  $a_A...$  koutový svar pásnic
- (B)  $a_B...$  koutový svar stojiny

Svary A, označeny na schématu zeleně, jsou přenášeny vnitřní síly  $N$ ,  $M_y$ ,  $M_z$  a  $V_y$ .

Svary B, označeny modře, jsou přenášeny

vnitřní síly  $V_z$ .

Pro návrh svarů a je třeba určit nejnamáhavější dvojici svarů na profilu, kde se sčítají tahové síly od účinků ohybových momentů. Pokud je v kombinaci obsažena tlaková síla, není tato síla zahrnuta do výpočtu.

Nejzatíženější dvojice svarů je namáhána těmito silami:

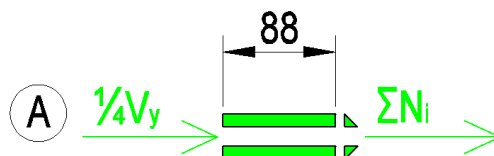
$$N_1 = 1/4 N_t \quad \text{kde } N_t \text{ je tahová síla z uvažované kombinace zatížení}$$

$$N_2 = M_y / (2z_y) \quad \text{kde } z_y \text{ je vzdálenost těžišť pásnic příčnicku}$$

$$N_3 = M_z / (2z_z) \quad \text{kde } z_z \text{ je vzdálenost těžišť uvažovaných svarů}$$

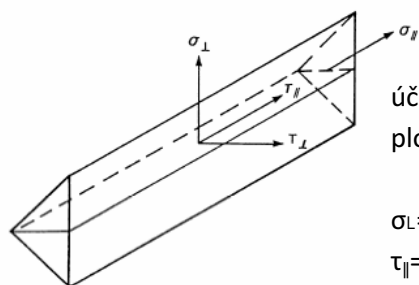
$\Sigma N_i$  součet všech normálových tahových sil pro nejnamáhavější dvojici svarů

$1/4 V_y$  podélně jsou svary namáhány posouvající silou



Jeden svar je tedy namáhán:  $1/2 \Sigma N_i$   
 $1/8 V_y$

Z těchto sil je možno určit napětí na kořenové ploše svaru dle  
Obrázku 4.5 normy ČSN EN 1993-1-8:



účinná délka svaru  $l_{\text{eff}} =$  mm  
plocha roviny svaru  $A_w = a \cdot l_{\text{eff}}$  mm<sup>2</sup>

$$\sigma_L = \tau_L = \sin 45^\circ \cdot 0,5 \cdot \Sigma N_i / A_w$$

$$\tau_{\parallel} = 0,125 \cdot V_y / A_w$$

Posouzení únosnosti se pak provede podle výrazu (4.1):

$$\left[ \sigma_L^2 + 3(\tau_L^2 + \tau_{\parallel}^2) \right]^{0,5} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}}$$

$$\sigma_L \leq 0,9 f_u / \gamma_{M2}$$

Vzorový posudek pro zvolenou kombinaci vnitřních sil CO2/30:

N = 134,60 kN  
V<sub>y</sub> = -65,30 kN  
V<sub>z</sub> = 13,55 kN  
M<sub>y</sub> = 22,30 kNm  
M<sub>z</sub> = 10,18 kNm

Geometrie svarů:

z<sub>y</sub> = 199 mm  
z<sub>z</sub> = 132 mm  
l<sub>eff,A</sub> = 88 mm  
l<sub>eff,B</sub> = 152 mm  
a<sub>A</sub> = 5 mm  
a<sub>B</sub> = 3 mm

**SVAR A**

N<sub>1</sub> = 1/4 N<sub>t</sub> = 0,25 · 134,60 = 33,65 kN  
N<sub>2</sub> = M<sub>y</sub> / (2z<sub>y</sub>) = 22,30 · 1000 / (2 · 199) = 56,031 kN  
N<sub>3</sub> = M<sub>z</sub> / (2z<sub>z</sub>) = 10,18 · 1000 / (2 · 132) = 38,561 kN  
ΣN<sub>i</sub> = 128,242 kN  
A<sub>w</sub> = 88 · 5 = 440 mm<sup>2</sup>  
σ<sub>L</sub> = τ<sub>L</sub> = sin 45° · 0,5 · ΣN<sub>i</sub> / A<sub>w</sub> = sin 45° · 0,5 · 128,242 · 1000 / 440 = 103,047 MPa  
τ<sub>∥</sub> = 0,125 · V<sub>y</sub> / A<sub>w</sub> = 0,125 · 65,30 / 440 = 18,552 MPa

**Posouzení:**

$$\left[\sigma_L^2 + 3(\tau_L^2 + \tau_{\parallel}^2)\right]^{0,5} = [103,047^2 + 3 \cdot (103,047^2 + 18,552^2)]^{0,5} = 208,584 \text{ MPa}$$

$$\leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} = 404,706 \text{ MPa}$$

(52%) VYHOVÍ

$$\frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} = 430 / (0,85 \cdot 1,25) = 404,706 \text{ MPa}$$

$$\sigma_L \leq 0,9 f_u / \gamma_{M2} = 0,9 \cdot 430 / 1,25 = 309,6 \text{ MPa}$$

VYHOVÍ

**SVAR B**

$$0,5 \cdot V_{z,\max} = 0,5 \cdot 13,5 = 6,75 \text{ kN}$$

$$A_w = l_{\text{eff},B} \cdot a_B = 152 \cdot 3 = 456 \text{ mm}^2$$

$$\tau_{\parallel} = 0,5 \cdot V_z / A_w = 6,750 \cdot 1000 / 456 = 14,803 \text{ MPa}$$

**Posouzení:**

$$\left[\sigma_L^2 + 3(\tau_L^2 + \tau_{\parallel}^2)\right]^{0,5} = [3 \cdot 14,803^2]^{0,5} = 25,668 \text{ MPa}$$

$$\leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} = 404,706 \text{ MPa}$$

(7%) VYHOVÍ

Navržené svary vyhoví na zvolenou kombinaci zatížení.

**Posouzení svarů pro ostatní kombinace zatížení:**

		SVAR A			SVAR B	ČSN EN 1993-1-8, 4.5.3.2 (1-7)				
	Komb	$\sigma_L$ [MPa]	$\tau_{\parallel}$ [kN]	$\tau_L$ [kN]	$\tau_{\parallel}$ [kN]	A (4.1)	$<f_u / (\beta_w \gamma_{M2})$	$\sigma_L < 0,9 f_u / \gamma_{M2}$	B (4.1)	$<f_u / (\beta_w \gamma_{M2})$
$N_{t,\max}$	CO2/155	94,871	17,116	94,871	7,248	192,0432	47,5%	30,6%	12,55357	3,1%
$V_{y,\max}$	CO2/30	103,066	18,551	103,066	14,857	208,6204	<b>51,5%</b>	33,3%	25,73387	6,4%
$V_{z,\max}$	CO2/29	17,937	3,165	17,937	69,189	36,29007	9,0%	5,8%	119,8382	29,6%
$M_{y,\max}$	CO2/155	55,272	15,983	55,272	48,805	113,9567	28,2%	17,9%	84,53244	20,9%
$M_{y,\max}$	CO2/157	64,610	0,750	64,610	39,857	129,2264	31,9%	20,9%	69,03514	17,1%
$M_{z,\max}$	CO2/30	103,066	18,551	103,066	14,857	208,6204	<b>51,5%</b>	33,3%	25,73387	6,4%

Tabulka 28 Posouzení navržených svarů pro ostatní návrhové kombinace zatížení

Navržené svary bezpečně vyhoví pro zkoumané kombinace zatížení.

### 9.6.2.2 Svařovaný přípoj střední části příčnicku na čelní desku

Návrhové vnitřní síly:

	Kombinace	N [kN]	V <sub>y</sub> [kN]	V <sub>z</sub> [kN]	M <sub>y</sub> [kNm]	M <sub>z</sub> [kNm]
<b>N<sub>t,max</sub></b>	CO2/124	<b>76,08</b>	1,48	5,57	22,72	0
<b>V<sub>y,max</sub></b>	CO3/143	-26,73	<b>-5,67</b>	35,61	14,71	0
<b>V<sub>z,max</sub></b>	CO2/157	17,9	-1,78	<b>-58,71</b>	17,87	0
<b>M<sub>y,max</sub></b>	CO2/157	9,57	2,64	36,35	<b>31,05</b>	0
<b>M<sub>y,max</sub></b>	CO2/8	43,3	-0,65	-19,97	<b>-3,01</b>	0

Tabulka 29 Hodnoty vnitřních sil pro návrh přípoje střední části příčnicku na čelní desku

**Materiál:**

Přídavný materiál pro svařování bude zvolen tak, aby jeho vlastnosti byly stejné nebo lepší než pro základní ocel S275.

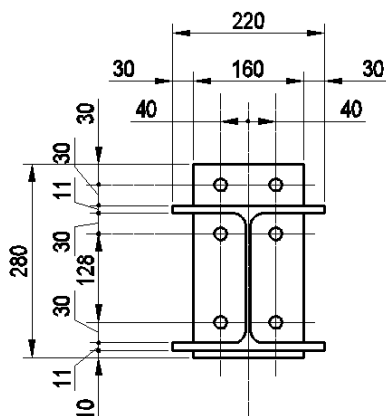
$$f_y = 275 \text{ MPa}$$

$$f_u = 430 \text{ MPa}$$

$$\beta_w = 0,85 \quad -$$

$$\gamma_{M2} = 1,25 \quad -$$

(Tabulka 4.1)



**Geometrie svarů:**

$$z_y = 199 \text{ mm}$$

$$z_z = 102 \text{ mm}$$

$$l_{\text{eff},A} = 57 \text{ mm}$$

$$l_{\text{eff},B} = 152 \text{ mm}$$

$$a_A = 5 \text{ mm}$$

$$a_B = 3 \text{ mm}$$

**Posouzení svarů pro kombinace zatížení:**

Komb	SVAR A			SVAR B	ČSN EN 1993-1-8, 4.5.3.2 (1-7)				
	$\sigma_L$ [MPa]	$\tau_{\parallel}$ [kN]	$\tau_{\perp}$ [kN]	$\tau_{\parallel}$ [kN]	A (4.1)	$\frac{<f_u/}{(\beta_w \gamma_{M2})}$	$\frac{\sigma_L <}{0,9 f_u / \gamma_{M2}}$	B (4.1)	$\frac{<f_u/}{(\beta_w \gamma_{M2})}$
CO2/105	94,412	0,649	94,412	6,107	188,827	46,7%	30,5%	10,578	2,6%
CO3/147	45,850	2,487	45,850	39,046	91,801	22,7%	14,8%	67,630	16,7%
CO6/39	61,251	0,781	61,251	64,375	122,509	30,3%	19,8%	111,501	<b>27,6%</b>
CO2/139	99,749	1,158	99,749	39,857	199,507	<b>49,3%</b>	<b>32,2%</b>	69,035	17,1%
CO2/8	22,811	0,285	22,811	21,897	45,624	11,3%	7,4%	37,927	9,4%

Tabulka 30 Posouzení navržených svarů pro jednotlivé kombinace zatížení

Navržené svary vyhoví bezpečně pro zkoumané kombinace zatížení.



### 9.6.2.3 Šroubovaný montážní přípoj částí příčníků

Pro posouzení navrženého přípoje budou zkoumány tyto způsoby porušení:

- 1) Porušení šroubového spoje smykem
- 2) Porušení šroubového spoje v otláčení
- 3) Porušení šroubového spoje v tahu
- 4) Posouzení šroubového spoje na protlačení
- 5) Posouzení šroubového přípoje na páčení

#### Materiály:

##### **Čelní deska S275**

$f_y = 275$  MPa

$f_u = 430$  MPa

$\gamma_{M2} = 1,25$  -

##### **Šrouby M16, 6.8**

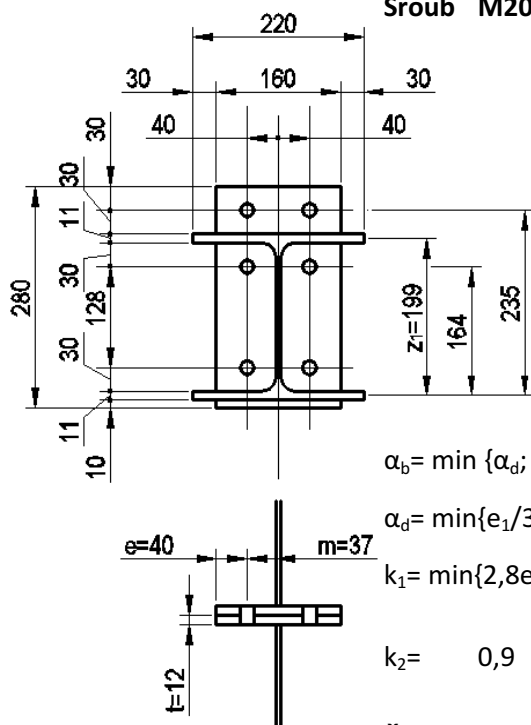
$f_{yb} = 480$  MPa

$f_{ub} = 600$  MPa

$\gamma_{M2} = 1,25$  -

$\alpha_v = 0,5$  -

#### Geometrie přípoje:



**Šroub M20**  $d = 16$  mm

$d_0 = 18$  mm

$d_m = 25,9$  mm

$A = 201$  mm<sup>2</sup>

$A_s = 157$  mm<sup>2</sup>

$p_1 = 80$  mm  $> p_{1,min} = 39,6$  mm

$p_2 = 71$  mm  $> p_{2,min} = 43,2$  mm

$e_1 = 40$  mm  $> e_{1,min} = 21,6$  mm

$e_2 = 30$  mm  $> e_{2,min} = 21,6$  mm

$\alpha_b = \min\{\alpha_d; f_{ub}/f_u; 1,0\} = \min\{0,741; 1,395; 1,0\} = 0,741$  -

$\alpha_d = \min\{e_1/3d_0; p_1/3d_0 - 0,25\} = \min\{0,741; 1,231\} = 0,741$  -

$k_1 = \min\{2,8e_2/d_0 - 1,7; 1,4p_2/d_0 - 1,7; 2,5\} = \min\{2,967; 3,822; 2,5\} = 2,5$  -

$k_2 = 0,9$  -

**Čelní deska**  $h = 280$  mm

$b = 160$  mm

$t = 12$  mm

### Posouzení na jednotlivé způsoby porušení:

Jednotlivé únosnosti jsou stanoveny podle Tabulky 3.4 pro jeden šroub.

#### **1) Porušení smykem**

$$A_s = 245 \text{ mm}^2$$

$$f_{ub} = 600 \text{ MPa}$$

$$\alpha_v = 0,5 \text{ -}$$

$$\gamma_{M2} = 1,25 \text{ -}$$

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,5 \cdot 600 \cdot 245}{1,25} = 37,680 \text{ kN}$$

#### **2) Porušení otlačením**

$$k_1 = 2,5 \text{ -}$$

$$\alpha_b = 0,741 \text{ -}$$

$$f_u = 430 \text{ MPa}$$

$$d = 16 \text{ mm}$$

$$t = 12 \text{ mm}$$

$$\gamma_{M2} = 1,25 \text{ -}$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \alpha_b f_u d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,741 \cdot 430 \cdot 16 \cdot 12}{1,25} = 122,354 \text{ kN}$$

#### **3) Porušení tahem**

$$k_2 = 0,9 \text{ -}$$

$$A_s = 157 \text{ mm}^2$$

$$f_{ub} = 600 \text{ MPa}$$

$$\gamma_{M2} = 1,25 \text{ -}$$

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 600 \cdot 157}{1,25} = 67,824 \text{ kN}$$

#### **4) Porušení protlačení**

$$d_m = 25,9 \text{ mm}$$

$$t = 12 \text{ mm}$$

$$f_u = 430 \text{ MPa}$$

$$\gamma_{M2} = 1,25 \text{ -}$$

$$B_{p,Rd} = \frac{0,6 \pi d_m t f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot \pi \cdot 25,9 \cdot 12 \cdot 430}{1,25} = 201,530 \text{ kN}$$

**Pozn.: Kombinace namáhání smykem a tahem je řešena podle:**

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 F_{t,Rd}} \leq 1,0$$

### 5) Porušení páčením

$$\begin{aligned} m &= 37 \text{ mm} \\ e &= 40 \text{ mm} \\ e_1 &= 30 \text{ mm} \\ d_w &= 25,9 \text{ mm} \\ e_w &= d_w/4 = 6,475 \text{ mm} \\ n &= 1,25m = 46 \text{ mm} < e = 40 \text{ mm} \quad n = 40 \text{ mm} \end{aligned}$$

Účinné délky dle tabulky 6.4:

$$\begin{aligned} l_{\text{eff,cp}} &= \min\{2\pi m; \pi m + 2e_1\} = \min\{226; 173\} = 176 \text{ mm} \\ l_{\text{eff,nc}} &= \min\{4m + 1,25e; 2m + 0,625e + e_1\} = \\ &= \min\{198; 129\} = 129 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Způsob 1} \quad l_{\text{eff},1} &= l_{\text{eff,nc}} = 129 \text{ mm} < l_{\text{eff,cp}} \text{ OK} \\ \text{Způsob 2} \quad l_{\text{eff},2} &= l_{\text{eff,nc}} = 129 \text{ mm} \end{aligned}$$

Návrhové únosnosti  $F_{T,Rd}$  náhradního T profilu dle Tabulky 6.2:

$$\begin{aligned} M_{pl,1,Rd} &= 0,25 \Sigma l_{\text{eff},1}^2 f_y / \gamma_{M0} = 0,25 \cdot 2 \cdot 129 \cdot 12^2 \cdot 275 / 1,0 = 2,554 \text{ kNm} \\ M_{pl,2,Rd} &= 0,25 \Sigma l_{\text{eff},2}^2 f_y / \gamma_{M0} = 0,25 \cdot 2 \cdot 129 \cdot 12^2 \cdot 275 / 1,0 = 2,554 \text{ kNm} \end{aligned}$$

### Způsob 1

$$\text{Metoda 1} \quad F_{T,1,Rd} = \frac{4M_{pl,1,Rd}}{m} = \frac{4 \cdot 2,554 \cdot 1000}{37} = 276,108 \text{ kN}$$

$$\text{Metoda 2} \quad F_{T,1,Rd} = \frac{(8n - 2e_w)M_{pl,1,Rd}}{2mn - e_w(m+n)} = \frac{(8 \cdot 40 - 2 \cdot 6,5) \cdot 2,554 \cdot 1000}{2 \cdot 37 \cdot 40 - 6,5(37+40)} = 318,796 \text{ kN}$$

$$\text{Způsob 2} \quad F_{T,2,Rd} = \frac{2M_{pl,2,Rd} + n \Sigma F_{t,Rd}}{m+n} = \frac{2 \cdot 2,554 \cdot 1000 + 40 \cdot 2 \cdot 67,824}{37+40} = 136,809 \text{ kN}$$

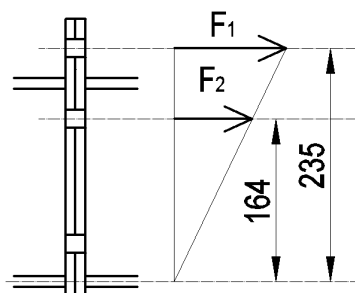
$$\text{Způsob 3} \quad F_{T,3,Rd} = \Sigma F_{t,Rd} = 2 \cdot 67,824 = 135,648 \text{ kN}$$

$$F_{T,Rd} = \min\{F_{T,1,Rd}; F_{T,2,Rd}; F_{T,3,Rd}\} = \min\{276,108; 136,809; 135,648\} = \underline{135,648 \text{ kN}}$$

### Rekapitulace únosností pro jeden šroub:

1) Smyk	$F_{v,Rd} =$	37,680	kN
2) Otláčení	$F_{b,Rd} =$	122,311	kN
3) Tah	$F_{t,Rd} =$	67,824	kN
4) Protlačení	$B_{p,Rd} =$	201,530	kN
5) Páčení	$F_{T,Rd} =$	135,648	kN (dva šrouby)

### Určení sil v nejnamáhavějším šroubu:



Maximální tahová síla:

$$M_{y,Ed} = F_1 r_1 + F_2 r_2$$

$$F_1 / r_1 = F_2 / r_2 \Rightarrow F_2 = F_1 r_2 / r_1$$

$$M_{y,Ed} = F_1 r_1 + F_1 r_2^2 / r_1 = F_1 \cdot (235 + 164^2 / 235) / 1000 = 0,349 F_1$$

Maximální tahová síla ve šroubu od ohybového momentu se stanoví:

$$F_{t,Ed,max} = N_{t,Ed} / n + 0,5 \cdot M_{y,Ed} / 0,349 \quad [\text{kN}]$$

n ... počet šroubů

Celková posouvající síla na jeden šroub:

$$F_{v,Ed} = [(V_{y,Ed} / n)^2 + (V_{z,Ed} / n)^2]^{0,5} \quad [\text{kN}]$$

### Návrhové hodnoty vnitřních sil pro posuzované kombinace:

	Kombinace	N [kN]	V <sub>y</sub> [kN]	V <sub>z</sub> [kN]	M <sub>y</sub> [kNm]	M <sub>z</sub> [kNm]
<b>N<sub>t,max</sub></b>	CO2/124	<b>76,08</b>	1,48	5,57	22,72	0
<b>V<sub>y,max</sub></b>	CO3/143	-26,73	<b>-5,67</b>	35,61	14,71	0
<b>V<sub>z,max</sub></b>	CO2/157	17,9	-1,78	<b>-58,71</b>	17,87	0
<b>M<sub>y,max</sub></b>	CO2/157	9,57	2,64	36,35	<b>31,05</b>	0
<b>M<sub>y,max</sub></b>	CO2/8	43,3	-0,65	-19,97	<b>-3,01</b>	0

Tabulka 31 Hodnoty vnitřních sil pro návrh a posouzení šroubového připoje

### Vzorový posudek pro kombinaci CO2/157:

Síly pro nejnamáhavější šroub:

$$F_{t,Ed,max} = N_{t,Ed} / n + M_{y,Ed} / 0,349 = 9,57 / 6 + 0,5 \cdot 31,05 / 0,349 = 46,079 \text{ kN}$$

$$F_{v,Ed} = [(V_{y,Ed} / n)^2 + (V_{z,Ed} / n)^2]^{0,5} = [(2,64 / 6)^2 + (36,35 / 6)^2]^{0,5} = 6,074 \text{ kN}$$

Posouzení:

- SMYK

$$F_{v,Ed} / F_{v,Rd} = 6,074 / 37,680 = 0,162 \quad - \quad (17\%) \quad \text{VYHOVÍ}$$

- TAH

$$F_{t,Ed} / F_{t,Rd} = 46,079 / 67,824 = 0,679 \quad - \quad (68\%) \quad \text{VYHOVÍ}$$

- PÁČENÍ

$$2F_{t,Ed} / F_{T,Rd} = 2 \cdot 46,079 / 135,648 = 0,679 \quad - \quad (68\%) \quad \text{VYHOVÍ}$$

- KOMBINACE SMYK A TAH

$$F_{v,Ed} / F_{v,Rd} + F_{t,Ed} / 1,4F_{t,Rd} = 0,162 + 0,486 = 0,648 \quad (65\%) \quad \text{VYHOVÍ}$$

Navržený šroubový přípoj vyhoví na posouzení pro danou kombinaci zatížení.

### Posouzení na ostatní kombinace zatížení

Kombinace	$F_{v,Ed}$ [kN]	$F_{v,Ed}/F_{v,Rd}$	$F_{t,Ed}$ [kN]	$F_{t,Ed}/F_{t,Rd}$	KOMBINACE	$2F_{t,Ed}/F_{t,Rd}$
CO2/124	0,961	2,5%	45,230	66,7%	50,2%	66%
CO3/143	6,010	15,9%	21,074	31,1%	38,1%	31%
CO2/157	9,789	26,0%	28,585	42,1%	56,1%	42%

Tabulka 32 Posudky přípoje pro všechny řešené kombinace zatížení

Navržený přípoj vyhoví bezpečně pro veškeré zkoumané kombinace vnitřních sil.

### Posouzení pro záporný ohybový moment $M_y$

Posuzovaná kombinace zatížení pro  $M_{y,Ed,max}$  (-):

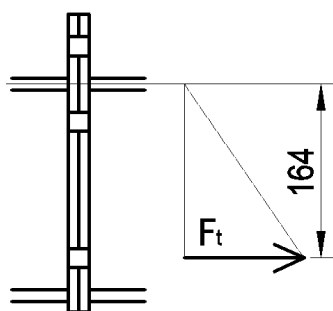
	Kombinace	N [kN]	$V_y$ [kN]	$V_z$ [kN]	$M_y$ [kNm]	$M_z$ [kNm]
$M_{y,max}$	CO2/8	43,3	-0,65	-19,97	-3,01	0

Tabulka 33 Kombinace vnitřních sil pro maximální záporný ohybový moment ve šroubovaném přípoji příčniku

Smyková síla je přenesena čtyřmi šrouby v horní části přípoje. Tlaková normálová síla není zahrnuta do posouzení na tah.

Tahová síla od momentu na jeden šroub:

$$F_{Ed,t,max} = N_t/6 + 0,5 \cdot M_{Ed,y,max}/z = 43,3/6 + 0,5 \cdot 3,01/0,164 = 16,393 \text{ kN}$$



Rekapitulace únosností pro jeden šroub:

3) Tah	$F_{t,Rd} =$	67,824	kN	
4) Protlačení	$B_{p,Rd} =$	201,530	kN	
5) Páčení	$F_{T,Rd} =$	135,648	kN	(dva šrouby)

$$F_{Ed,t,max}/F_{t,Rd} = 16,393/67,824 = 0,242 \quad - \quad (25\%)$$

$$F_{Ed,t,max}/B_{p,Rd} = 16,393/201,530 = 0,082 \quad - \quad (9\%)$$

$$2F_{Ed,t,max}/F_{T,Rd} = 2 \cdot 16,393/135,648 = 0,242 \quad - \quad (25\%)$$

VYHOVÍ

Navržený přípoj vyhoví pro namáhání záporným ohybovým momentem v přípoji s dostatečnou rezervou.

### 9.6.3 Návrh a posouzení připojení ztužidel

Navrženo a posouzeno bude v této kapitole:

- 1) Dva druhy styčnickových plechů napojených na profil ztužidla

Posudky:

- Svarový spoj plech – trubka
- Šroubový spoj – smyk, otláčení
- Únosnost oslabeného průřezu styčnickového plechu

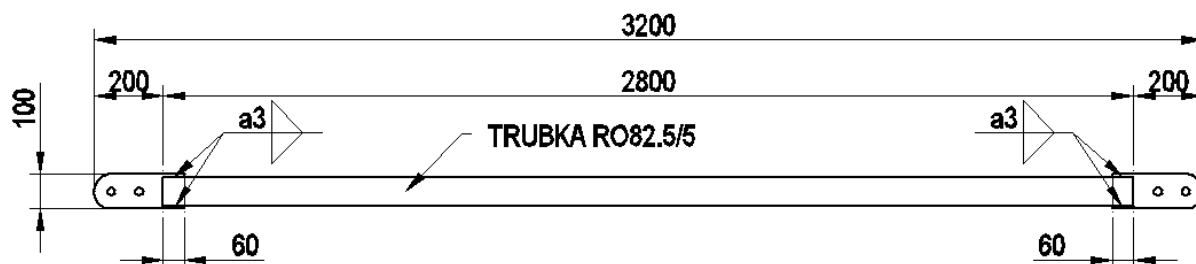
- 2) Šest styčnickových plechů připojených pomocí svarových spojů na svislice

Posudky:

- Svarový přípoj na svislici
- Únosnost oslabeného průřezu styčnickového plechu

Pro návrh veškerých částí připojení vodorovného ztužidla je využita maximální normálová síla použitá pro návrh profilu ztužidla pro danou oblast.

#### 9.6.3.1 Návrh a posouzení přípoje ztužidla PROFIL 1



Obr. 52 Schéma styčnickových plechů připojených na profil ztužidla

#### A) Návrh a posouzení svarového spoje

$$a = 3 \text{ mm}$$

$$l = 60 \text{ mm}$$

$$l_{\text{eff}} = 60 - 2 \cdot 3 = 54 \text{ mm}$$

$$f_u = 430 \text{ MPa}$$

$$\beta_w = 0,85$$

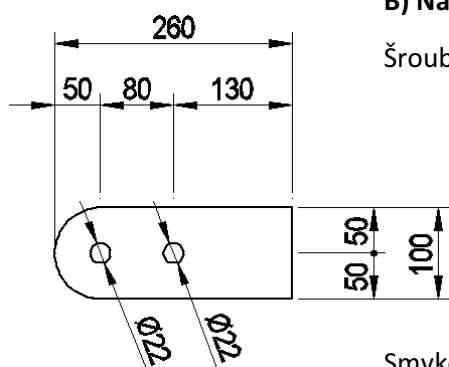
$$\gamma_{M2} = 1,25$$

$$\sigma_L \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} = \frac{430}{0,85 \cdot 1,25} = 404,706 \text{ MPa}$$

$$N_{Ed} = 89,19 \text{ kN}$$

$$\sigma_L = \frac{N_{Ed}}{4 l_{\text{eff}} a} = \frac{89,19 \cdot 1000}{4 \cdot 54 \cdot 3} = 137,639 \text{ MPa} < \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} = 404,706 \text{ MPa}$$

(35%)



## B) Návrh a posouzení šroubového přípoje

Šroub: 2x M20, 6.8

d=	20	mm
d <sub>0</sub> =	22	mm
A <sub>s</sub> =	245	mm <sup>2</sup>
f <sub>ub</sub> =	600	MPa
γ <sub>M2</sub> =	1,25	-
α <sub>v</sub> =	0,5	-

Smyková únosnost šroubu:

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,5 \cdot 600 \cdot 245}{1,25} = 58,8 \quad \text{kN}$$

$$N_{Ed}/2F_{v,Rd} = 89,19/2 \cdot 58,8 = 0,759 \quad \text{VYHOVÍ (76\%)}$$

Plech: t= 6 mm  
f<sub>u</sub>= 430 MPa

$$e_1 = 50 \quad \text{mm} > e_{1,min} = 1,2d_0 = 26,4 \quad \text{mm}$$

$$e_2 = 50 \quad \text{mm} > e_{2,min} = 1,2d_0 = 26,4 \quad \text{mm}$$

$$p_1 = 80 \quad \text{mm} > p_{1,min} = 2,2d_0 = 48,4 \quad \text{mm}$$

$$k_1 = \min(2,8e_2/d_0 - 1,7; 2,5) = \min(4,66; 2,5) = 2,5 \quad -$$

$$\alpha_d = \min(e_1/3d_0; p_1/3d_0 - 0,25) = (0,758; 0,962) = 0,758 \quad -$$

$$\alpha_b = \min(\alpha_d; f_{ub}/f_u; 1) = \min(0,758; 1,395; 1) = 0,758 \quad -$$

Únosnost spoje v otláčení:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \alpha_b f_u d t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,758 \cdot 430 \cdot 20 \cdot 6}{1,25} = 78,225 \quad \text{kN}$$

$$N_{Ed}/2F_{b,Rd} = 89,19/2 \cdot 78,225 = 0,570 \quad - \quad (57\%)$$

## C) Posouzení únosnosti oslabeného průřezu styčnickového plechu:

$$A_{net} = (100 - 22) \cdot 6 = 468 \quad \text{mm}^2$$

$$f_u = 430 \quad \text{MPa}$$

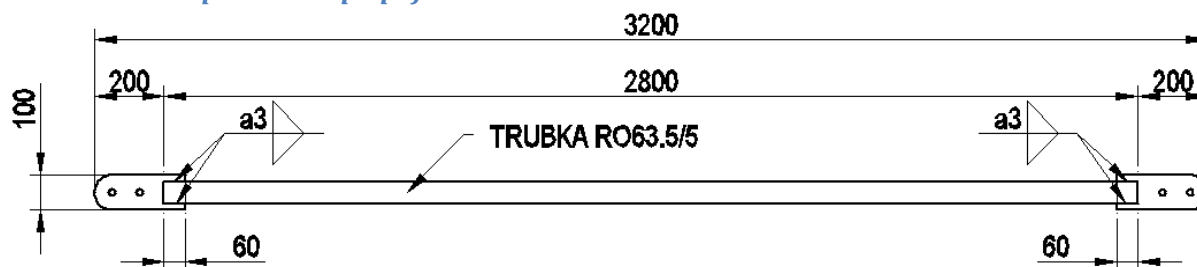
$$\gamma_{M2} = 1,25 \quad -$$

$$F_{u,Rd} = \frac{0,9 A_{net} f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 468 \cdot 430}{1,25} = 144,892 \quad \text{kN}$$

$$N_{Ed}/F_{u,Rd} = 89,19/144,892 = 0,616 \quad - \quad (62\%)$$

Navržený svarový a šroubový spoj a také styčnickový plech vyhoví pro mezní stav únosnosti pro dané namáhání spoje.

### 9.6.3.2 Návrh a posouzení přípoje ztužidla PROFIL 2



Obr. 53 Schéma styčnickových plechů připojených na profil ztužidla

#### A) Návrh a posouzení svarového spoje

$a =$	3	mm
$l =$	60	mm
$l_{eff} = 60 - 2 \cdot 3 =$	54	mm
$f_u =$	430	MPa
$\beta_w =$	0,85	-
$\gamma_{M2} =$	1,25	-

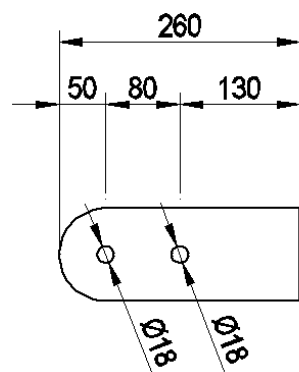
$$\sigma_L \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} = \frac{430}{0,85 \cdot 1,25} = 404,706 \text{ MPa}$$

$$N_{Ed} = 62,45 \text{ kN}$$

$$\sigma_L = \frac{N_{Ed}}{4 l_{eff} a} = \frac{62,45 \cdot 1000}{4 \cdot 54 \cdot 3} = 96,374 \text{ MPa} < \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} = 404,706 \text{ MPa}$$

(24%)

#### B) Návrh a posouzení šroubového přípoje



Šroub: 2x M16, 6.8		
$d =$	16	mm
$d_0 =$	18	mm
$A_s =$	157	mm <sup>2</sup>
$f_{ub} =$	600	MPa
$\gamma_{M2} =$	1,25	-
$\alpha_v =$	0,5	-

Smyková únosnost šroubu:

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,5 \cdot 600 \cdot 157}{1,25} = 37,680 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} / 2 F_{v,Rd} = 62,45 / 2 \cdot 37,68 = 0,829 \text{ VYHOVÍ (83\%)}$$

Plech: $t =$	6	mm
$f_u =$	430	MPa

$e_1 =$	50	mm	$>$	$e_{1,min} = 1,2 d_0 =$	21,6	mm
$e_2 =$	50	mm	$>$	$e_{2,min} = 1,2 d_0 =$	21,6	mm
$p_1 =$	80	mm	$>$	$p_{1,min} = 2,2 d_0 =$	39,6	mm



$$k_1 = \min(2,8e_2/d_0 - 1,7; 2,5) = \min(6,08; 2,5) = 2,5 \quad -$$

$$\alpha_d = \min(e_1/3d_0; p_1/3d_0 - 0,25) = (0,925; 1,232) = 0,925 \quad -$$

$$\alpha_b = \min(\alpha_d; f_{ub}/f_u; 1) = \min(0,925; 1,395; 1) = 0,925 \quad -$$

Únosnost spoje v otláčení:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \alpha_b f_u d t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,925 \cdot 430 \cdot 16 \cdot 6}{1,25} = 76,368 \text{ kN}$$

$$N_{Ed}/2F_{b,Rd} = 62,45/2 \cdot 76,368 = 0,409 \quad - \quad (41\%)$$

**C) Posouzení únosnosti oslabeného průřezu styčnickového plechu:**

$$A_{net} = (100 - 18) \cdot 6 = 492 \text{ mm}^2$$

$$f_u = 430 \text{ MPa}$$

$$\gamma_{M2} = 1,25 \quad -$$

$$F_{u,Rd} = \frac{0,9 A_{net} f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 492 \cdot 430}{1,25} = 152,323 \text{ kN}$$

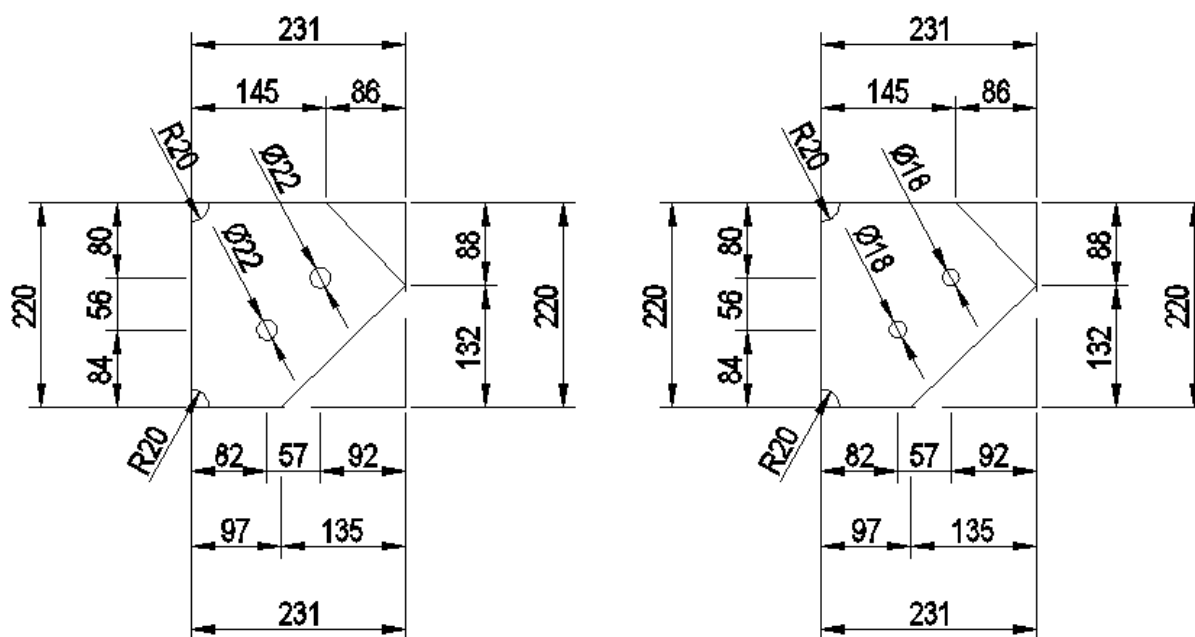
$$N_{Ed}/F_{u,Rd} = 62,45/152,323 = 0,409 \quad - \quad (41\%)$$

Navržený svarový a šroubový spoj a také styčnickový plech vyhoví pro mezní stav únosnosti pro dané namáhání spoje.

### 9.6.3.3 Návrh a posouzení krajního styčnickového plechu pro připojení ztužidla PROFIL 1/PROFIL 2

Jako materiál styčnickového plechu je použita ocel S275, tloušťka materiálu 6 mm.

Geometrie styčnickových plechů:



Obr. 54 Schéma geometrie navržených styčnickových plechů pro připojení ztužidel PROFIL 1 a PROFIL 2

### A) Návrh a posouzení svarového spoje

$$a = 3 \text{ mm}$$

$$f_u = 430 \text{ MPa}$$

$$\beta_w = 0,85 \text{ -}$$

$$\gamma_{M2} = 1,25 \text{ -}$$

$$\sigma \leq \frac{f_u}{\sqrt{3}\beta_w\gamma_{M2}} = \frac{430}{\sqrt{3} \cdot 0,85 \cdot 1,25} = 233,657 \text{ MPa}$$

$$N_{Ed,max} = 173,49 \text{ kN}$$

$$l_{eff,min} = \frac{N_{Ed}}{2 \cdot \sigma \cdot a} = \frac{173,49 \cdot 1000}{2 \cdot 233,657 \cdot 3} = 124 \text{ mm} < l_{eff,provedené} \cong 280 \text{ mm}$$

Navržený svarový spoj vyhoví na posuzované namáhání s dostatečnou rezervou.

### B) Posouzení únosnosti v otláčení šroubových spojů

Šroub: 2x M20, 6.8 pro  $F_{t,Ed} = 89,19 \text{ kN}$

$$d = 20 \text{ mm}$$

$$d_0 = 22 \text{ mm}$$

$$t = 6 \text{ mm}$$

$$f_u = 430 \text{ MPa}$$

$$\gamma_{M2} = 1,25 \text{ -}$$

$$k_1 = 2,5 \text{ -}$$

$$\alpha_b = 0,758 \text{ -}$$

Únosnost spoje v otláčení:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \alpha_b f_u d t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,758 \cdot 430 \cdot 20 \cdot 6}{1,25} = 78,225 \text{ kN}$$

$$N_{Ed}/2F_{b,Rd} = 89,19/2 \cdot 78,225 = 0,570 \text{ - (57\%)}$$

Šroub: 2x M16, 6.8 pro  $F_{t,Ed} = 62,45 \text{ kN}$

$$d = 16 \text{ mm}$$

$$d_0 = 18 \text{ mm}$$

$$t = 6 \text{ mm}$$

$$f_u = 430 \text{ MPa}$$

$$\gamma_{M2} = 1,25 \text{ -}$$

$$k_1 = 2,5 \text{ -}$$

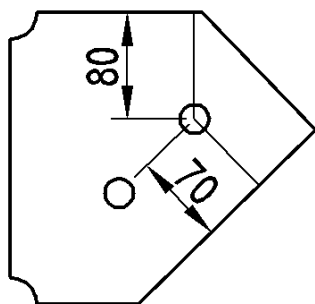
$$\alpha_b = 0,925 \text{ -}$$

Únosnost spoje v otláčení:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \alpha_b f_u d t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,925 \cdot 430 \cdot 16 \cdot 6}{1,25} = 76,368 \text{ kN}$$

$$N_{Ed}/2F_{b,Rd} = 62,45/2 \cdot 76,368 = 0,409 \text{ - (41\%)}$$

### C) Posouzení únosnosti oslabeného průřezu styčnickového plechu:



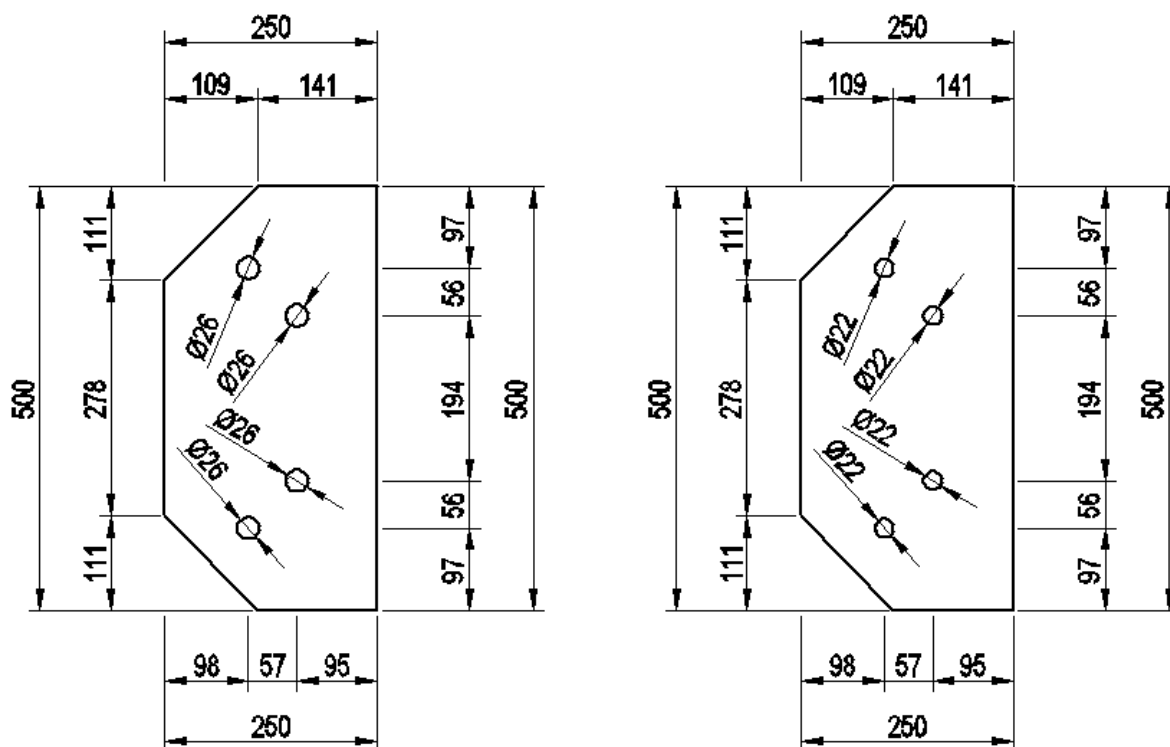
$$\begin{aligned}
 A_{\text{net}} &= (150 - 22) \cdot 6 = 768 \quad \text{mm}^2 \\
 f_u &= 430 \quad \text{MPa} \\
 \gamma_{M2} &= 1,25 \quad - \\
 F_{u,Rd} &= \frac{0,9 A_{\text{net}} f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 768 \cdot 430}{1,25} = 237,773 \quad \text{kN} \\
 N_{Ed} / F_{u,Rd} &= 89,19 / 237,773 = 0,375 \quad - \quad (38\%)
 \end{aligned}$$

Navržený styčnickový plech vyhoví na namáhání od posuzovaných sil s dostatečnou rezervou v únosnosti.

#### 9.6.3.4 Návrh a posouzení styčnickového plechu pro připojení ztužidel ke střední části příčníku pro PROFIL 1 a PROFIL 2

Jako materiál styčnickového plechu je použita ocel S275, tloušťka materiálu 6 mm.

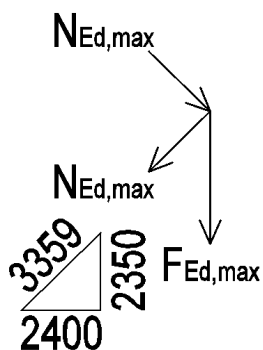
Geometrie styčnickových plechů:



Obr. 55 Schéma geometrie styčnickových desek pro připojení vodorovných ztužidel ke střední části příčníku

### A) Návrh a posouzení svarového spoje

$$\begin{aligned}
 a &= 3 \quad \text{mm} \\
 f_u &= 430 \quad \text{MPa} \\
 \beta_w &= 0,85 \quad - \\
 \gamma_{M2} &= 1,25 \quad -
 \end{aligned}$$



$$\sigma \leq \frac{f_u}{\sqrt{3}\beta_w\gamma_{M2}} = \frac{430}{0,85 \cdot 1,25} = 404,706 \quad \text{MPa}$$

$$N_{Ed,max} = 89,19 \quad \text{kN}$$

$$F_{Ed,max} = 2N_{Ed,max} \cdot (2350/3359) = 2 \cdot 89,19 \cdot (2350/3359) = 124,797 \quad \text{kN}$$

$$l_{eff,min} = \frac{F_{Ed,max}}{2 \cdot \sigma \cdot a} = \frac{124,797 \cdot 1000}{2 \cdot 404,706 \cdot 3} = 51,394 \quad \text{mm}$$

$$< l_{eff,provedené} \cong 500 \quad \text{mm}$$

Navržený svarový spoj vyhoví na posuzované namáhání s dostatečnou rezervou.

### B) Posouzení únosnosti v otláčení šroubových spojů

Únosnost v otláčení viz předešlé posouzení krajního styčnickového plechu tl. 6 mm.

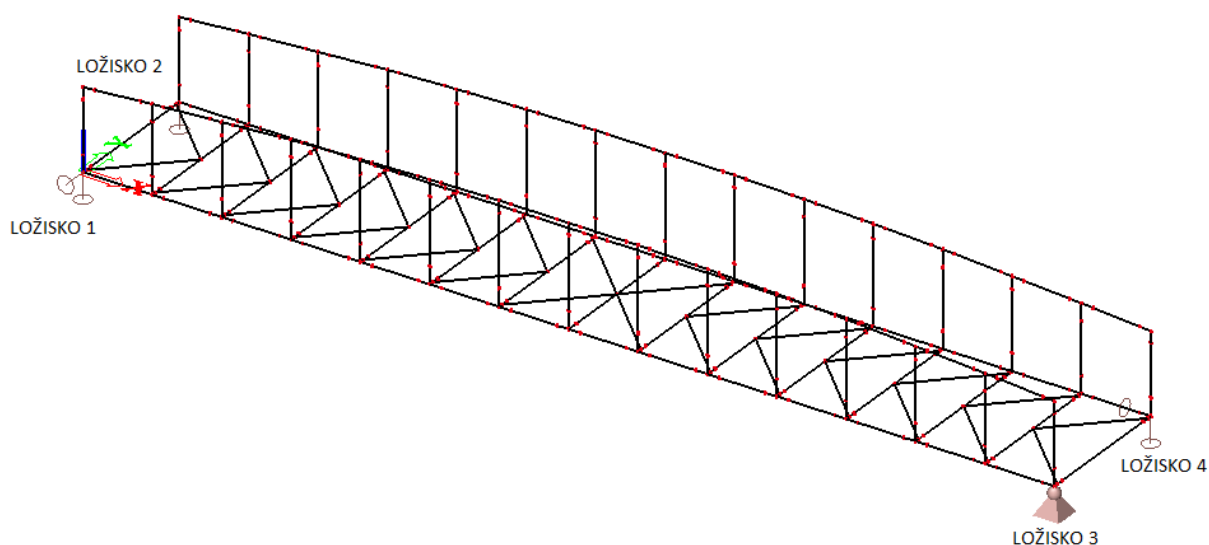
Navržený styčnickový plech vyhoví na zkoumané namáhání s dostatečnou rezervou.

## 9.7 Návrh a posouzení ložisek a závěrů

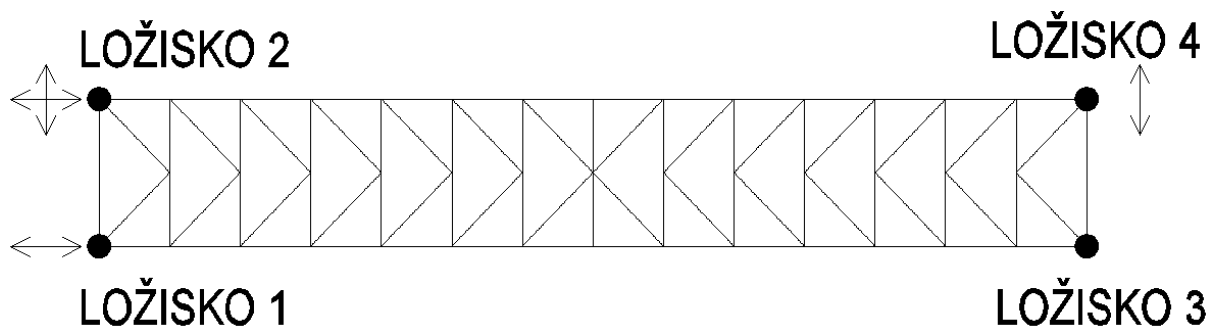
Ložiska jsou navržena podle katalogů dostupných na [www.helmos.cz](http://www.helmos.cz). Použitelnost ložisek je třeba konzultovat s dodavatelem ložisek. Ložiska jsou uložena na spodní stavbu na železobetonový krček o výšce cca 150 mm, v případě změny návrhu ložiska, respektive změny jeho stavební výšky je nutno upravit výšku tohoto krčku tak, aby se zachovala výška nivelety lávky.

Dodavatel ložiska je povinen vypracovat dokumentaci připojení ložiska na spodní stavbu a ocelovou konstrukci lávky.

### 9.7.1 Schéma rozmístění a označení ložisek



Obr. 56 Schéma umístění ložisek v modelu konstrukce



Obr. 57 Schéma posunů umožněných ložisky

### 9.7.2 Ložisko 1

Ve výpočtovém programu je toto ložisko označeno Sn1. Jedná se o ložisko posuvné v jednom směru paralelně s podélnou osou lávky.

Reakce v ložisku:

KOMBINACE	R <sub>x</sub> [kN]	R <sub>y</sub> [kN]	R <sub>z</sub> [kN]
CO2/65	0	<b>87,92</b>	312,62
CO2/28	0	-81,97	<b>142,37</b>
CO2/29	0	24,61	<b>505,85</b>

Tabulka 34 Maximální hodnoty reakcí v ložisku 1

Posuny a pootočení v ložisku:

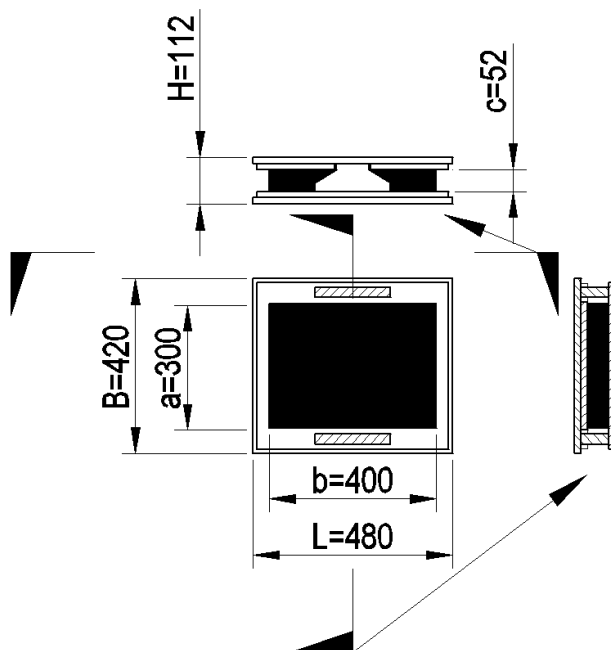
KOMBINACE	POSUN			POOTOČENÍ		
	U <sub>x</sub> [mm]	U <sub>y</sub> [mm]	U <sub>z</sub> [mm]	Fix [mrad]	F <sub>iy</sub> [mrad]	F <sub>iz</sub> [mrad]
CO7/200	<b>14,1</b>	0	0	-2,1	1,8	0
CO7/199	<b>-24,1</b>	0	0	-6,7	3,3	0
CO7/203	-10,3	0	0	<b>-9,6</b>	<b>4,6</b>	0
CO6/204	-6,2	0	0	-4,5	2,4	<b>0,9</b>

Tabulka 35 Maximální hodnoty posunů a pootočení pro ložisko 1

Pro dané hodnoty reakcí, posunů a pootočení lze navrhnout například elastomerové ložisko firmy Helmos, příčně pevné

ROZMĚRY [mm]						ÚNOSNOSTI [kN]			POSUNY [mm]	
a	b	c	B	L	H	F <sub>z</sub>	F <sub>x</sub>	F <sub>y</sub>	X	Y
300	400	52	420	480	112	1800	-	335	±26	-

Tabulka 36 Rozměry, únosnosti a maximální posuny příčně pevného ložiska firmy HELMOS



Obr. 58 Schéma navrženého příčně pevného ložiska

### 9.7.3 Ložisko 2

Ve výpočtovém programu je toto ložisko označeno Sn2. Jedná se o ložisko posuvné v obou směrech, jak rovnoběžně s podélnou osou lávky, tak kolmo na tento směr v rovině.

Reakce v ložisku:

KOMBINACE	R <sub>x</sub> [kN]	R <sub>y</sub> [kN]	R <sub>z</sub> [kN]
CO2/99	0	0	<b>142,37</b>
CO2/157	0	0	<b>505,85</b>

Tabulka 37 Maximální hodnoty reakcí v ložisku 2

Posuny a pootočení v ložisku:

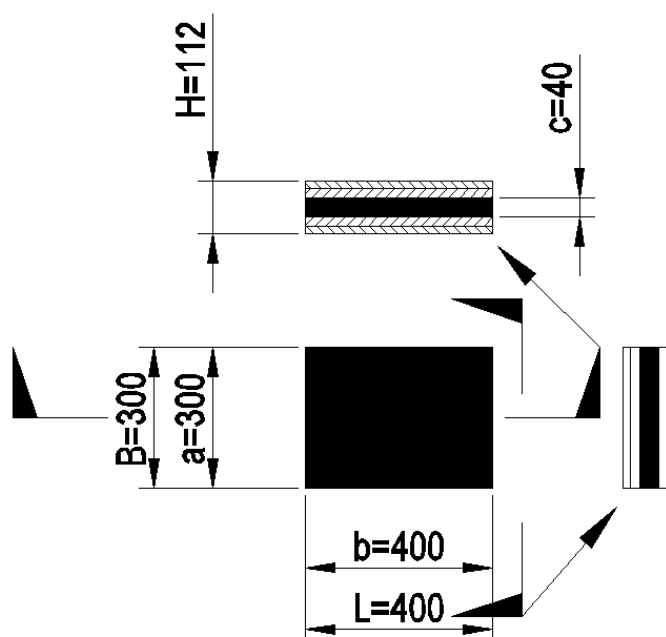
KOMBINACE	POSUN			POOTOČENÍ		
	U <sub>x</sub> [mm]	U <sub>y</sub> [mm]	U <sub>z</sub> [mm]	Fix [mrad]	F <sub>iy</sub> [mrad]	F <sub>iz</sub> [mrad]
CO7/200	<b>14,1</b>	<b>-2,8</b>	0	2,1	1,8	0
CO7/199	<b>-24,1</b>	2,5	0	6,7	3,3	0
CO7/203	-10,3	0	0	<b>9,6</b>	<b>4,6</b>	0
CO6/208	-5,7	0	0	4,5	2,4	<b>-0,9</b>

Tabulka 38 Maximální hodnoty posunů a pootočení pro ložisko 2

Pro dané hodnoty reakcí, posunů a pootočení lze navrhnout například elastomerové ložisko firmy Helmos, všesměrně posuvné

ROZMĚRY [mm]						ÚNOSNOSTI [kN]			POSUNY [mm]	
a	b	c	B	L	H	F <sub>z</sub>	F <sub>x</sub>	F <sub>y</sub>	X	Y
300	400	40	300	400	112	1800	-	-	±28	±28

Tabulka 39 Rozměry, únosnosti a maximální posuny všesměrně volného ložiska firmy HELMOS



Obr. 59 Schéma navrhovaného všesměrně volného ložiska

### 9.7.4 Ložisko 3

Ve výpočtovém programu je toto ložisko označeno Sn3. Jedná se o ložisko pevné, neposuvné.

Reakce v ložisku:

KOMBINACE	R <sub>x</sub> [kN]	R <sub>y</sub> [kN]	R <sub>z</sub> [kN]
CO2/11	<b>-264,99</b>	142,67	359,79
CO2/173	<b>261,60</b>	<b>-143,57</b>	200,32
CO2/9	215,81	-137,61	<b>142,23</b>
CO2/8	-117,10	41,30	<b>505,90</b>

Tabulka 40 Maximální hodnoty reakcí v ložisku 3

Posuny a pootočení v ložisku:

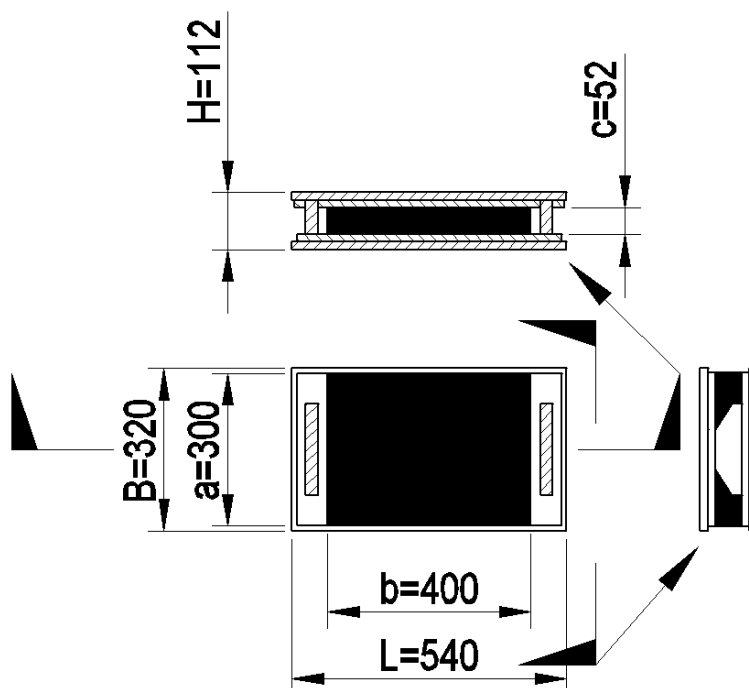
KOMBINACE	POSUN			POOTOČENÍ		
	U <sub>x</sub> [mm]	U <sub>y</sub> [mm]	U <sub>z</sub> [mm]	Fix [mrad]	F <sub>iy</sub> [mrad]	F <sub>iz</sub> [mrad]
CO7/203	<b>0</b>	<b>0</b>	0	<b>-9,6</b>	<b>-4,4</b>	0,0
CO7/193	<b>0</b>	0	0	-4,8	-2,8	<b>0,8</b>

Tabulka 41 Maximální hodnoty posunů a pootočení pro ložisko 3

Pro dané hodnoty reakcí, posunů a pootočení lze navrhnout například elastomerové ložisko firmy Helmos všesměrně pevné

ROZMĚRY [mm]						ÚNOSNOSTI [kN]			POSUNY [mm]	
a	b	c	B	L	H	F <sub>z</sub>	F <sub>x</sub>	F <sub>y</sub>	X	Y
300	400	52	320	540	112	1800	302	160	-	-

Tabulka 42 Rozměry, únosnosti a maximální posuny všesměrně pevného ložiska firmy HELMOS



Obr. 60 Schéma navrženého pevného ložiska



### 9.7.5 Ložisko 4

Ve výpočtovém programu je toto ložisko označeno Sn4. Jedná se o ložisko posuvné v jednom směru kolmo k podélné ose lávky.

Reakce v ložisku:

KOMBINACE	R <sub>x</sub> [kN]	R <sub>y</sub> [kN]	R <sub>z</sub> [kN]
CO2/174	<b>-264,83</b>	0	307,90
CO2/60	158,23	0	<b>142,23</b>
CO2/32	4,67	0	<b>505,90</b>

Tabulka 43 Maximální hodnoty reakcí v ložisku 4

Posuny a pootočení v ložisku:

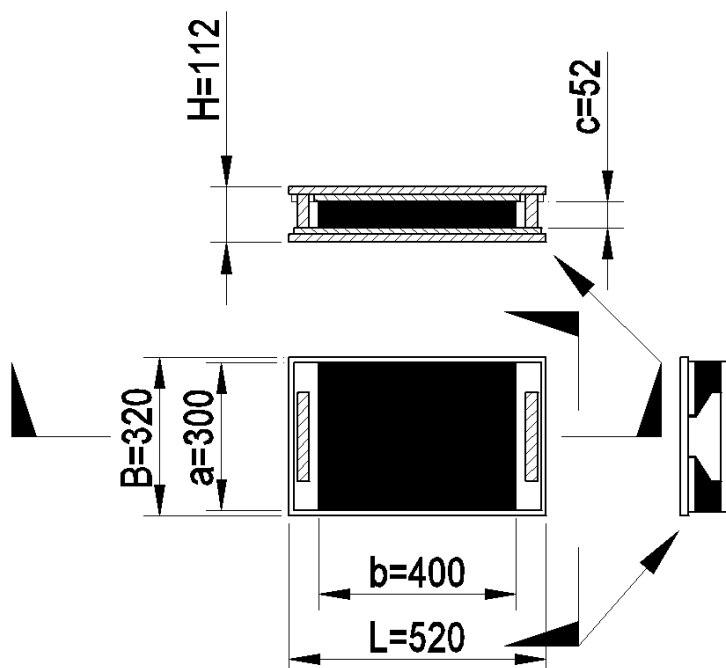
KOMBINACE	POSUN			POOTOČENÍ		
	U <sub>x</sub> [mm]	U <sub>y</sub> [mm]	U <sub>z</sub> [mm]	Fix [mrad]	F <sub>iy</sub> [mrad]	F <sub>iz</sub> [mrad]
CO7/214	<b>0</b>	<b>-2,8</b>	0	4,9	-2,5	-0,4
CO7/203	<b>0</b>	0	0	<b>9,6</b>	<b>-4,4</b>	0
CO7/204	0	0	0	4,5	-2,4	<b>0,8</b>

Tabulka 44 Maximální hodnoty posunů a pootočení pro ložisko 4

Pro dané hodnoty reakcí, posunů a pootočení lze navrhnout například elastomerové ložisko firmy HELMOS, podélně pevné

ROZMĚRY [mm]						ÚNOSNOSTI [kN]			POSUNY [mm]	
a	b	c	B	L	H	F <sub>z</sub>	F <sub>x</sub>	F <sub>y</sub>	X	Y
300	400	52	320	520	112	1800	335	-	-	±10

Tabulka 45 Rozměry, únosnosti a maximální posuny podélně pevného ložiska firmy HELMOS



Obr. 61 Schéma navrženého podélně pevného ložiska

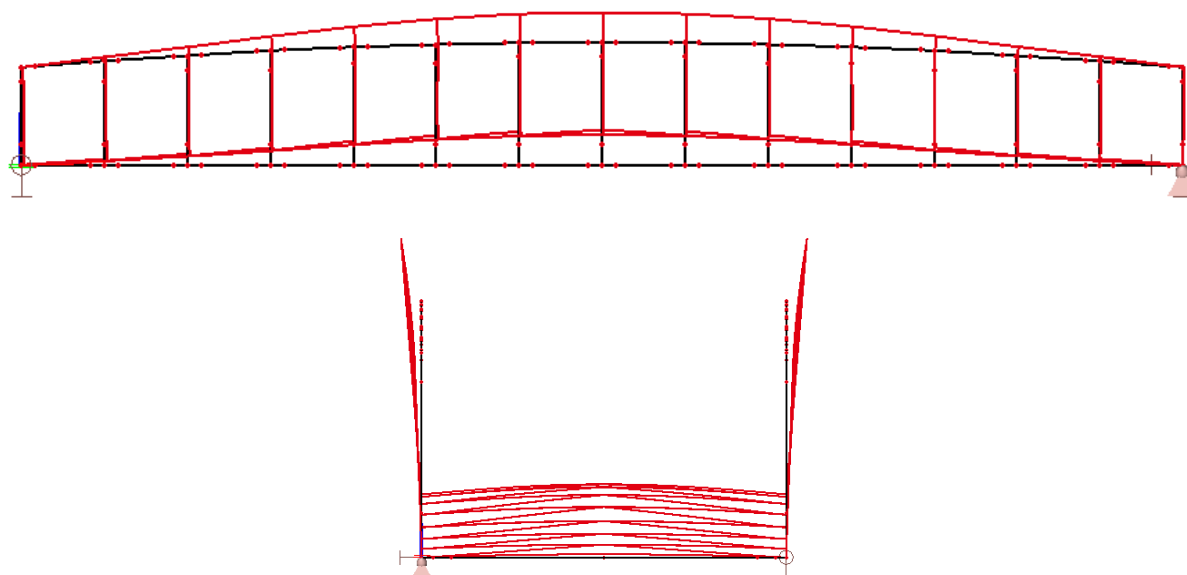
## 9.8 Dynamická analýza konstrukce

Pro lávku navrženou na mezní stav únosnosti a použitelnosti, s ohledem na mezní průhyb lávky, byl stanoven rozsah vlastních frekvencí konstrukce pro dvě kombinace hmot.

N	f [Hz]	omega [1/sec]	omega^2 [1/sec^2]	T [sec]
*Studentská verze* *Studentská verze* *Studentská verze* *Studentská verze* *Studentská verze*				
<b>Kombinace hmot : CM1</b>				
1	2,38	14,97	224,12	0,42
2	2,98	18,73	350,95	0,34
3	4,05	25,44	647,17	0,25
4	4,27	26,81	718,66	0,23
5	4,96	31,19	972,52	0,20
<b>Kombinace hmot : CM2</b>				
1	2,24	14,05	197,39	0,45
2	2,87	18,04	325,59	0,35
3	3,80	23,89	570,92	0,26
4	4,06	25,53	651,70	0,25
5	4,82	30,29	917,43	0,21

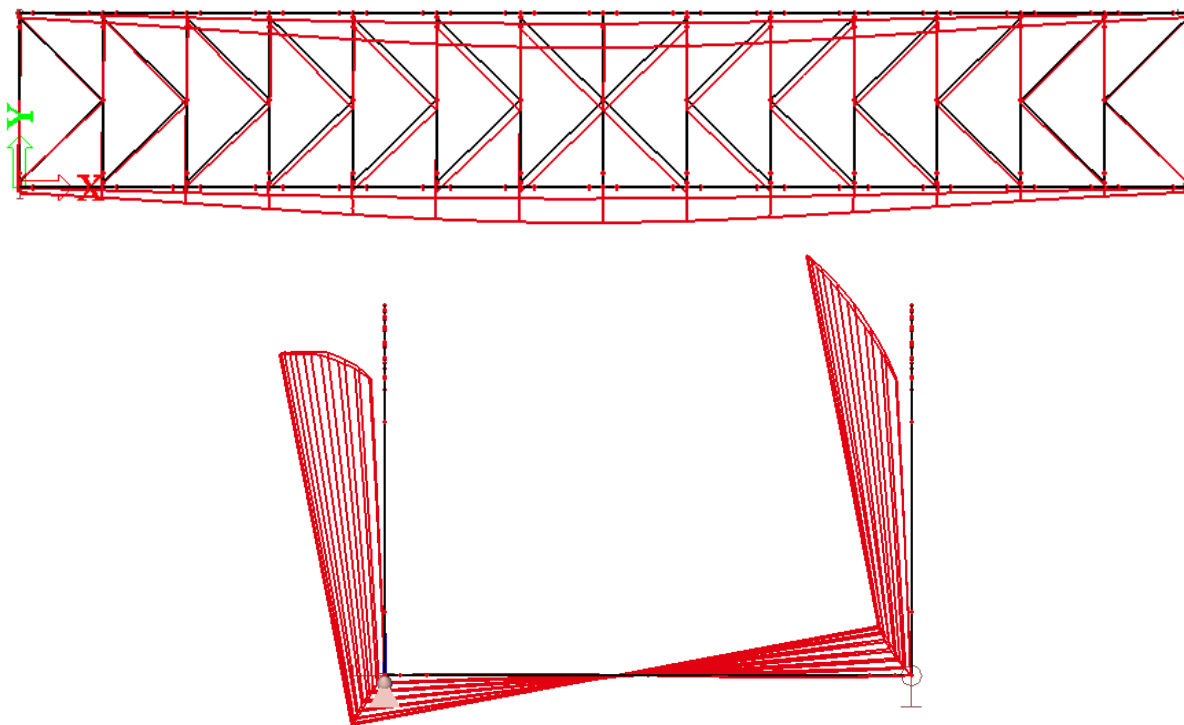
Obr. 62 Vlastní frekvence lávky pro nastavené kombinace hmot

### 1. vlastní frekvence – ohyb, svisle:



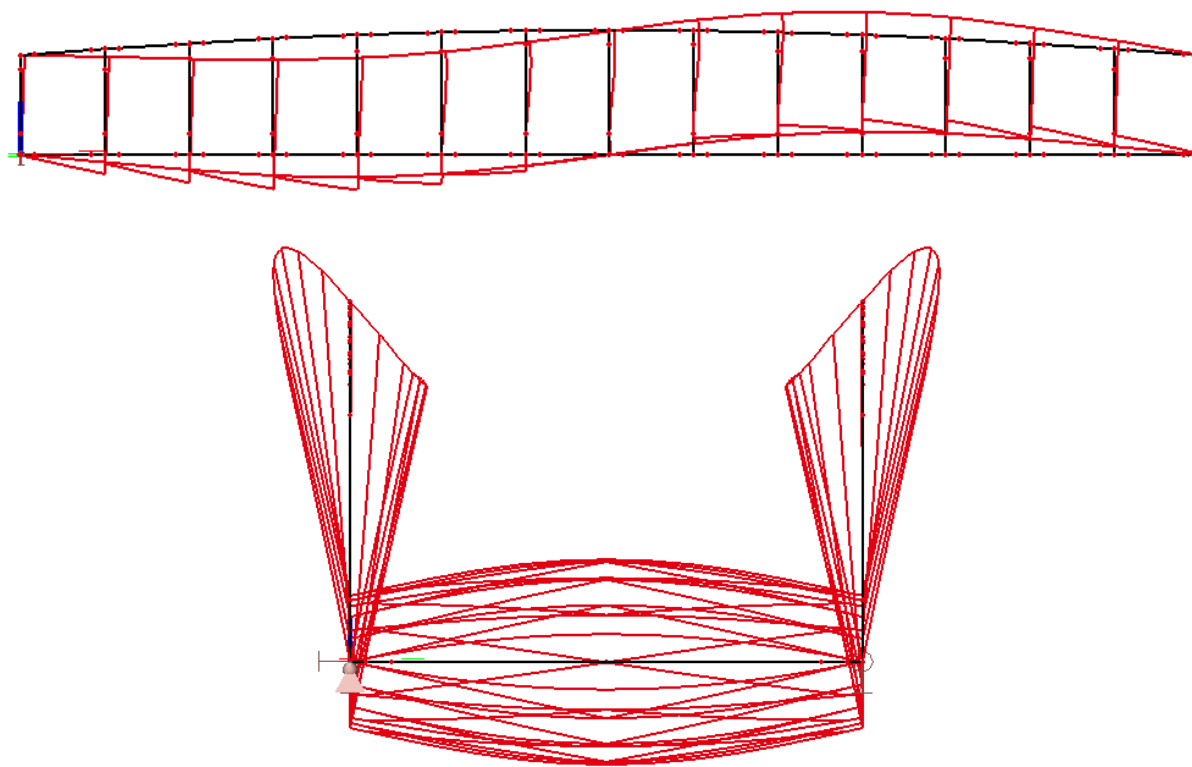
Obr. 63 Vlastní tvar lávky pro 1. vlastní frekvenci

## 2. vlastní frekvence – kroucení:



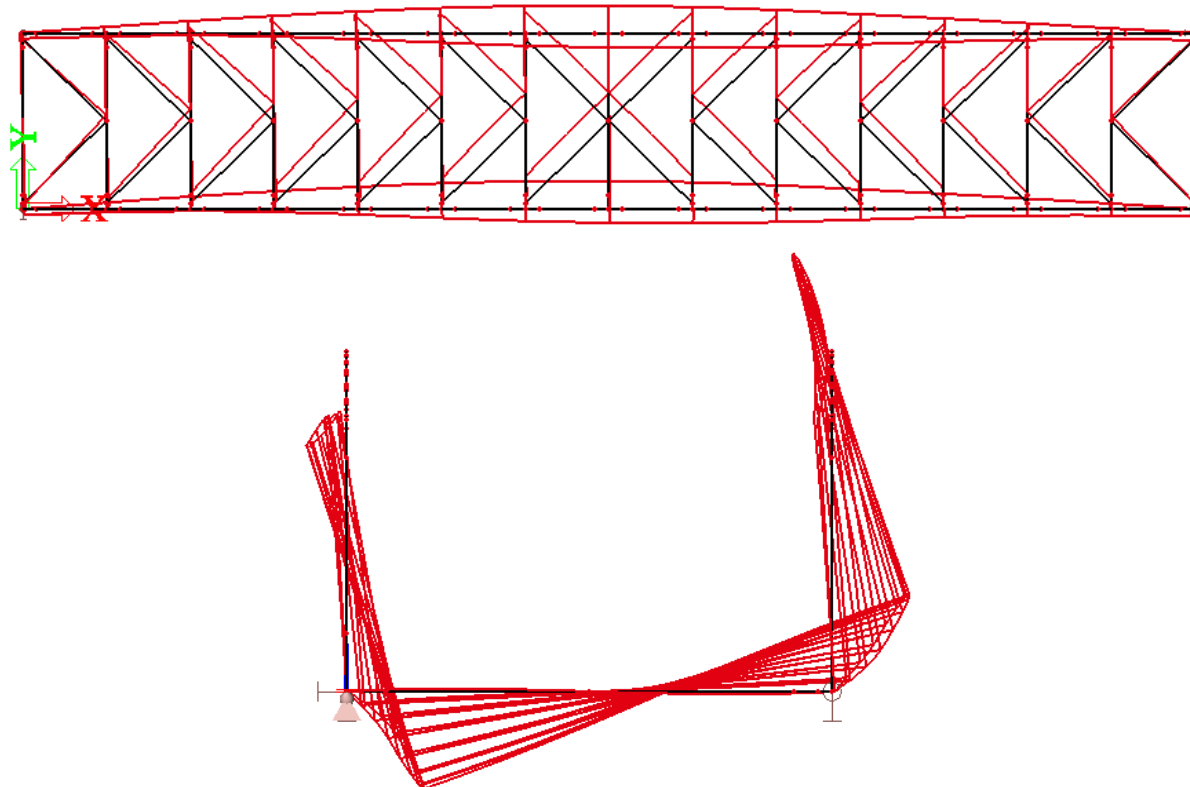
Obr. 64 Vlastní tvar lávky pro 2. vlastní frekvenci

## 3. vlastní frekvence – ohyb, svisle



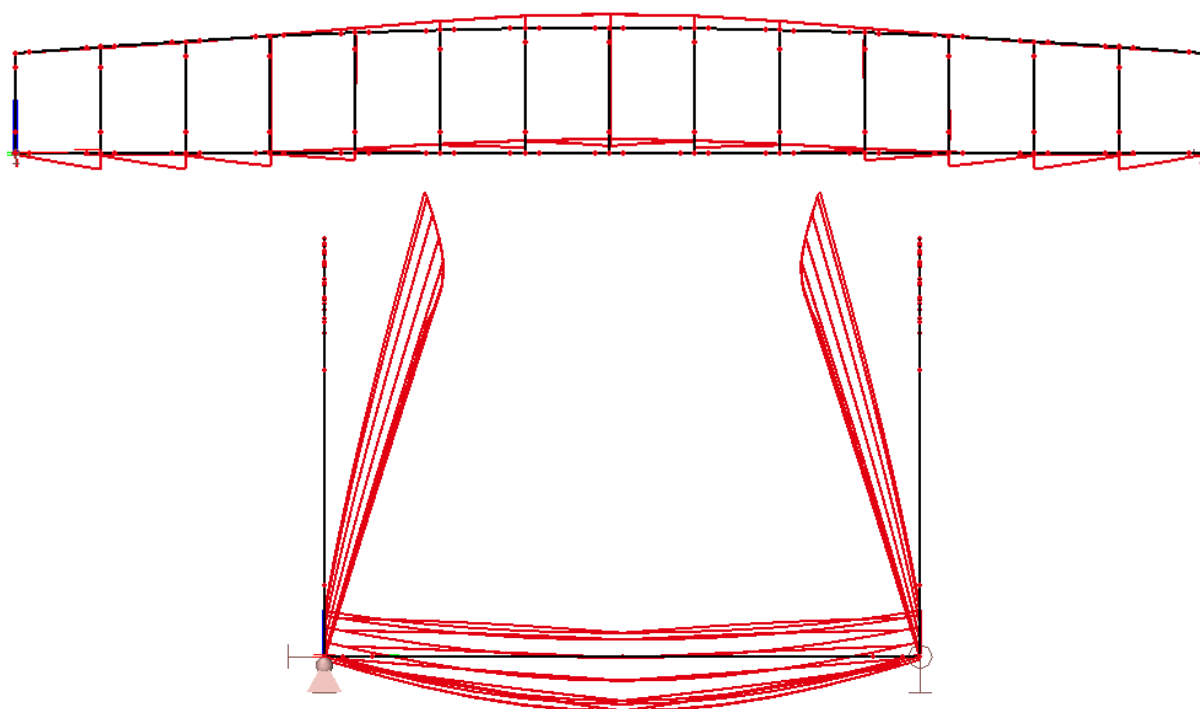
Obr. 65 Vlastní tvar lávky pro 3. vlastní frekvenci

#### 4. vlastní frekvence – kroucení, příčný ohyb



Obr. 66 Vlastní tvar lávky pro 4. vlastní frekvenci

#### 5. vlastní frekvence – ohyb, svisle:



Obr. 67 Vlastní tvar lávky pro 5. vlastní frekvenci

Dle ČSN EN 1990, článku přílohy A, A2.4.3.2 udává hodnoty vlastních frekvencí, pro které je nutné ověřit splnění kritérií pro pohodu chodců na lávce:

- |                     |            |    |                                     |
|---------------------|------------|----|-------------------------------------|
| – Vlastní frekvence | $\geq 5$   | Hz | pro svislé kmitání lávky            |
|                     | $\geq 2,5$ | Hz | pro příčné a kroutivé kmitání lávky |

Z toho lze vidět, že konstrukce lávky splňuje podmínky normy pouze pro příčné a kroutivé kmitání lávky, kdy vlastní frekvence pro obě kombinace hmot vycházejí na 2,5 Hz.

Pro svislé kmitání lávky se k požadované hodnotě blíží pouze 5. vlastní frekvence, které jsou třetí vlastní frekvencí pro svislé kmitání lávky pro pěší. Proto je třeba posoudit lávku z hlediska kmitání pro 1. a 3. vlastní frekvenci jednotlivých kombinací hmot.

Následuje pak dvojí možnost dalšího postupu:

1. Snaha zvýšit vlastní frekvenci konstrukce lávky nad požadovanou hranici
2. Dynamické posouzení lávky

Byly zvažovány obě varianty řešení, jak je popsáno v následujících kapitolách.

#### 9.8.1 Zvýšení vlastních frekvencí lávky

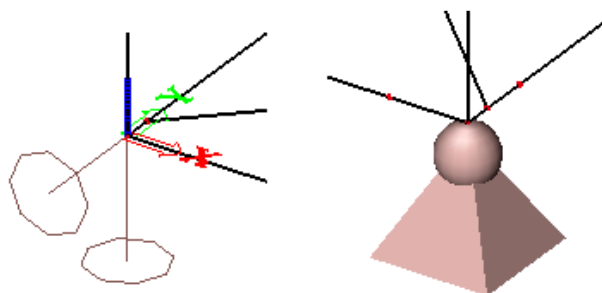
Konstrukce lávky, jak je popsána výše, byla navržena na mezní stav únosnosti a mezní deformace konstrukce. Jak je popsáno výše, v kapitole 9.8, tato konstrukce nevyhovuje na podmínky dané normou ČSN EN 1990 pro svislé kmitání lávky.

V této kapitole jsou zkoumány možnosti a účinnost těchto změn pro zvýšení hodnoty vlastní frekvence dané konstrukce:

1. Změna okrajových podmínek lávky
2. Návrh hlavních nosníků podle teorie elasticity
3. Změna výšky hlavních nosníků

### 9.8.1.1 Změna okrajových podmínek

Všechny podpory byly nastaveny jako neposuvné v příčném směru, při zachování prostého podepření lávky.



Obr. 68 Posuvná a neposuvná kloubová podpora ve výpočetním programu

Změna vlastních frekvencí je patrná z obrázku níže:

N	f [Hz]	omega [1/sec]	omega <sup>2</sup> [1/sec <sup>2</sup> ]	T [sec]
<i>*Studentská verze<sup>1</sup> *Studentská verze<sup>1</sup> *Studentská verze<sup>1</sup> *Studentská verze<sup>1</sup> *Studentská verze<sup>1</sup></i>				
<b>Kombinace hmot : CM1</b>				
1	2,38	14,97	224,12	0,42
2	2,99	18,80	353,56	0,33
3	4,05	25,44	647,17	0,25
4	4,28	26,90	723,39	0,23
5	4,96	31,19	972,56	0,20
<b>Kombinace hmot : CM2</b>				
1	2,24	14,05	197,39	0,45
2	2,88	18,12	328,26	0,35
3	3,80	23,89	570,93	0,26
4	4,07	25,60	655,51	0,25
5	4,82	30,29	917,48	0,21

Obr. 69 Vlastní frekvence pro změněný model konstrukce

Změna hodnoty vlastních frekvencí je oproti původnímu modelu nepodstatná.

### 9.8.1.2 Návrh hlavních nosníků podle teorie elasticity

Všechny prvky hlavních nosníků byly navrženy tak, aby vyhověly podle teorie elasticity. Při tomto byly zvětšeny průřezy hlavně prvků v krajních částech hlavních nosníků, asi po čtvrtou svislici od podpory. Výsledná změna vlastních frekvencí je patrná z obrázku níže.

N	f [Hz]	omega [1/sec]	omega <sup>2</sup> [1/sec <sup>2</sup> ]	T [sec]
<i>*Studentská verze<sup>1</sup> *Studentská verze<sup>1</sup> *Studentská verze<sup>1</sup> *Studentská verze<sup>1</sup> *Studentská verze<sup>1</sup></i>				
<b>Kombinace hmot : CM1</b>				
1	2,41	15,13	229,06	0,42
2	2,99	18,78	352,60	0,33
3	4,05	25,44	647,37	0,25
4	4,30	27,01	729,29	0,23
5	4,94	31,04	963,25	0,20
<b>Kombinace hmot : CM2</b>				
1	2,26	14,20	201,76	0,44
2	2,88	18,08	326,92	0,35
3	3,81	23,91	571,59	0,26
4	4,10	25,73	662,09	0,24
5	4,80	30,17	910,48	0,21

Obr. 70 Hodnoty vlastních frekvencí lávky pro hlavní nosníky navržené podle teorie elasticity

Zvýšení vlastních frekvencí je výraznější pro tuto změnu v konstrukci, ale pro zvýšení vlastní frekvence až na hodnotu považovanou normou za bezpečnou je pro tento způsob nereálné.

### 9.8.1.3 Změna výšky hlavních nosníků

Byla posuzována změna vlastních frekvencí při zvýšení a snížení výšky hlavních nosníků o 0,5 m, tedy minimální výška 3,3 m a maximální 4,0 m pro zvýšení a minimální výška 2,3 m a maximální 3,0 m pro snížení výšky.

Zvýšení hlavních nosníků nepřispělo ke zvětšení vlastních frekvencí konstrukce pro svislé vlastní tvary a k tomu ještě došlo ke snížení hodnot vlastních frekvencí pro vlastní tvary lávky v kroucení a příčné kmitání. Výsledky proto nejsou podstatné a nejsou zde ani udány.

Snížení výšky hlavních nosníků sice nepřispěje ke zvýšení prvních vlastních frekvencí, avšak dojde ke zvýšení zbylých čtyř vlastních frekvencí pro každou zkoumanou kombinaci skupin hmot, viz obrázek níže.

N	f [Hz]	omega [1/sec]	omega <sup>2</sup> [1/sec <sup>2</sup> ]	T [sec]
<i>*Studentská verze<sup>1</sup> *Studentská verze<sup>1</sup> *Studentská verze<sup>1</sup> *Studentská verze<sup>1</sup> *Studentská verze<sup>1</sup></i>				
<b>Kombinace hmot : CM1</b>				
1	2,42	15,20	231,00	0,41
2	3,08	19,33	373,75	0,32
3	4,24	26,61	708,29	0,24
4	4,48	28,15	792,68	0,22
5	5,52	34,71	1204,52	0,18
<b>Kombinace hmot : CM2</b>				
1	2,27	14,25	203,19	0,44
2	2,95	18,52	342,82	0,34
3	3,97	24,93	621,70	0,25
4	4,28	26,87	722,21	0,23
5	5,26	33,07	1093,84	0,19

Obr. 71 Vlastní frekvence lávky pro sníženou výšku hlavního nosníku

### 9.8.1.4 Vyhodnocení

Žádná ze zkoumaných změn modelu lávky nevedla k výraznému zvýšení první vlastní frekvence lávky, aby ji bylo možno využít k posunutí hodnoty první vlastní frekvence nad hodnotu považovanou normou za bezpečnou bez nutnosti dynamického posouzení.

### 9.8.2 Dynamický posudek lávky

Soubor evropských norem neudává jednotný postup pro dynamickou analýzu lávky nebo jiné mostní konstrukce. Udává pouze doporučené hodnoty vlastních frekvencí, při kterých není nutné provádět dynamickou analýzu konstrukce, jak již bylo zmíněno v úvodu kapitoly 9.8.

#### 9.8.2.1 Dynamické zatížení lávky pro běžný provoz

Dynamické posouzení je tedy nutné provést pro vlastní frekvence:

$$\begin{aligned}(1) \quad f_{v1} &= 2,24 \text{ Hz} \\ (2) \quad f_{v2} &= 4,0 \text{ Hz}\end{aligned}$$

Dynamické posouzení lávky je provedeno podle postupu popsaneho v odborném časopise STAVEBNÍ OBZOR, vydání 05/2011 [1]. Použitý článek je přiložen jako příloha 3 tohoto statického výpočtu.

<b>Zatěžovací třída lávky II:</b>	d=	0,8	-	pro (1)(2)
<b>Zatěžovací případ:</b>	zatěžovací případ 1 pro (1)			
	zatěžovací případ 3 pro (2)			(dle [1] Tab. 3)
<b>Poměrný útlum:</b>	ξ=	0,4	%	(dle [1] Tab. 6)
<b>Maximální počet chodců:</b>	N= S·d=	34·4,5·0,8=	122,4	osob
	S...	plocha mostovky lávky		
	d...	intenzita zatížení chodci		
<b>Ekvivalentní počet chodců:</b>	N <sub>eq</sub> =	10,8 · √N · ξ	=	10,8 · √122,4 · 0,004 = 7,557 osob
<b>Redukční součinitel χ:</b>	χ=	0,72	-	pro (1) (dle [1] Obr. 1)
	χ=	1,00	-	pro (2) (dle [1] Obr. 3)

#### Dynamické zatížení lávky:

$$\begin{aligned}\text{– zatěžovací případ 1} \quad q_{dyn,1}(t) &= 280 \cdot d \cdot \cos(2\pi f_{v1} t) \cdot \chi \cdot 10,8 \sqrt{\xi/N} = \\ &= 280 \cdot 0,8 \cdot \cos(2\pi \cdot 2,24 \cdot t) \cdot 0,72 \cdot 10,8 \cdot \sqrt{0,004/122,4} = \\ &= 9,957 \cdot \cos(2,24 \cdot 2\pi t) \quad \text{N} \cdot \text{m}^{-2} \\ \text{– zatěžovací případ 3} \quad q_{dyn,2}(t) &= 70 \cdot d \cdot \cos(2\pi f_{v2} t) \cdot \chi \cdot 10,8 \sqrt{\xi/N} = \\ &= 70 \cdot 0,8 \cdot \cos(2\pi \cdot 4,0 \cdot t) \cdot 1,0 \cdot 10,8 \cdot \sqrt{0,004/122,4} = \\ &= 3,458 \cdot \cos(4,0 \cdot 2\pi t) \quad \text{N} \cdot \text{m}^{-2}\end{aligned}$$



### 9.8.2.2 Dynamické zatížení lávky pro případy vandalismu

Pro případ tvz. vandalismu bylo zvoleno zatížení 6ti chodci, kdy každý z nich vytváří na lávce harmonické zatížení podle [1] o velikosti:

$$F(t) = 280 \cdot \sin(2\pi \cdot f_v \cdot t) \quad \text{pro 1. vlastní tvar}$$

$$F(t) = 70 \cdot \sin(2\pi \cdot f_v \cdot t) \quad \text{pro 3. vlastní tvar}$$

kde:  $F(t)$  ... je budící síla v [N], 280(70) N je amplituda účinku od jednoho chodce  
 $f_v$  ... je vlastní svislá frekvence pro posuzovaný vlastní tvar konstrukce  
 $t$  ... čas

Velikost amplitudy od jednoho chodce je volená podle [1]. Rozmístění zatížení závisí na řešeném vlastním tvaru a jeho směr jsou popsány dále, v popisu dynamických zatěžovacích stavů.

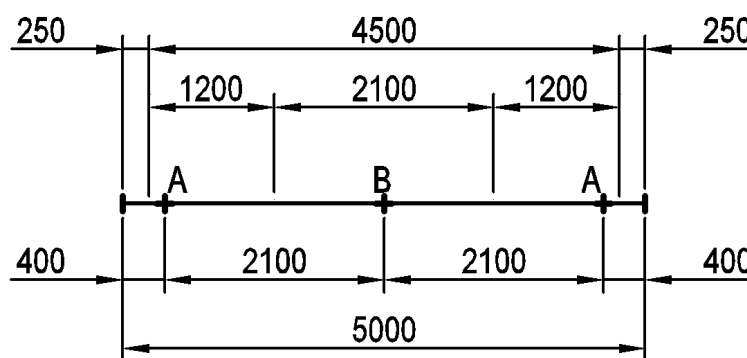
### 9.8.2.3 Dynamické zatěžovací stavy a hmoty ve výpočetním programu

Výpočet logaritmického dekrementu:

Poměrný útlum  $\xi = 0,4 \quad \% = 0,004 \quad -$

Logaritmický dekrement  $\Lambda = \frac{2\pi\xi}{\sqrt{1-\xi^2}} = \frac{2\pi \cdot 0,004}{\sqrt{1-0,004^2}} = 0,0251 \quad -$

Plochy pro jednotlivé uzly – od plošného zatížení:



Obr. 72 Schéma zatěžovacích šířek pro jednotlivé uzly

Plocha  $A_A = 2,4 \cdot 1,2 = 2,88 \quad \text{m}^2$   
 $A_B = 2,4 \cdot 2,1 = 5,04 \quad \text{m}^2$

Dynamické zatěžovací stavy a skupiny hmot:

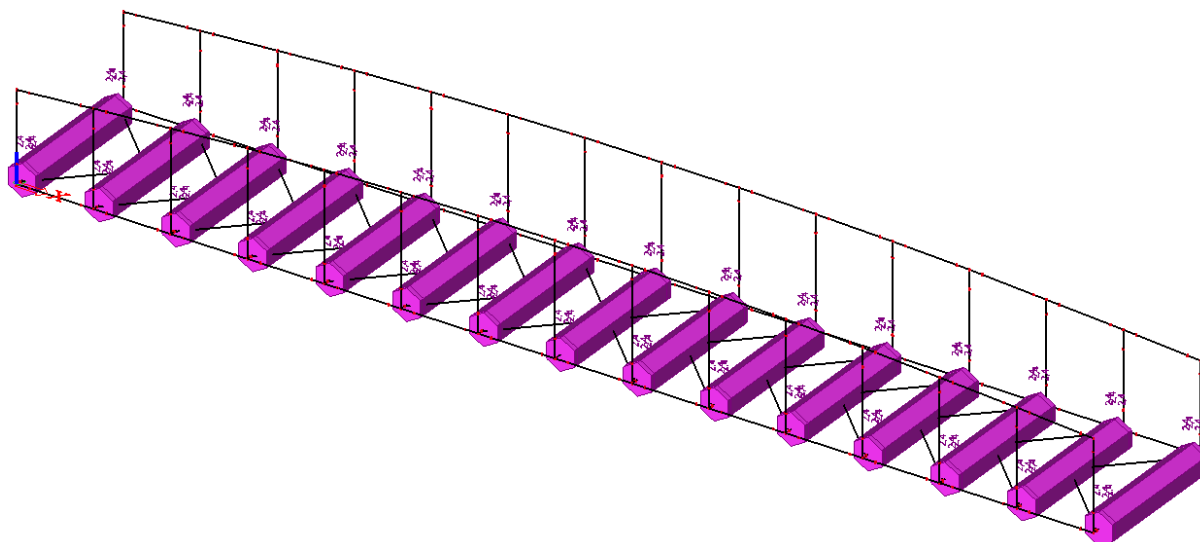
Jsou definovány čtyři dynamické zatěžovací stavy, pro každý zatěžovací případ plošného zatížení jeden a dále dva pro případy vandalismu, pro každý řešený vlastní tvar/frekvenci jeden.

- zatěžovací případ 1	zatížení	$q_{dyn,1} =$	9,957 $\text{N} \cdot \text{m}^{-2}$
		$Q_{dyn,A} = 9,957 \cdot 2,88 =$	28,676 N
		$Q_{dyn,B} = 9,957 \cdot 5,04 =$	50,183 N
	hmoty	$m_{dyn} = 9,957 \cdot 2,4 / 9,81 =$	2,436 $\text{kg} \cdot \text{m}^{-1}$
- zatěžovací případ 3	zatížení	$q_{dyn,1} =$	3,458 $\text{N} \cdot \text{m}^{-2}$
		$Q_{dyn,A} = 3,458 \cdot 2,88 =$	8,299 N
		$Q_{dyn,B} = 3,458 \cdot 5,04 =$	17,428 N

	hmoty	$m_{dyn} = 3,458 \cdot 2,4 / 9,81 = 0,846 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1}$
- vandalismus 1	zatížení	6 osob kráčejících na místě uprostřed lávky $Q_{dyn,1} = 6 \cdot 280 = 1680 \text{ N}$
	hmoty	$m_{dyn} = 1680 / 9,81 = 171,3 \text{ kg}$
- vandalismus 2	zatížení	2 x 3 osoby běžící v místech max výchylky vlastního tvaru $Q_{dyn,i} = 3 \cdot 70 = 210 \text{ N}$
	hmoty	$m_{dyn,i} = 210 / 9,81 = 21,5 \text{ kg}$

Směr zatížení odpovídá vždy směru výchylky daného vlastního tvaru.

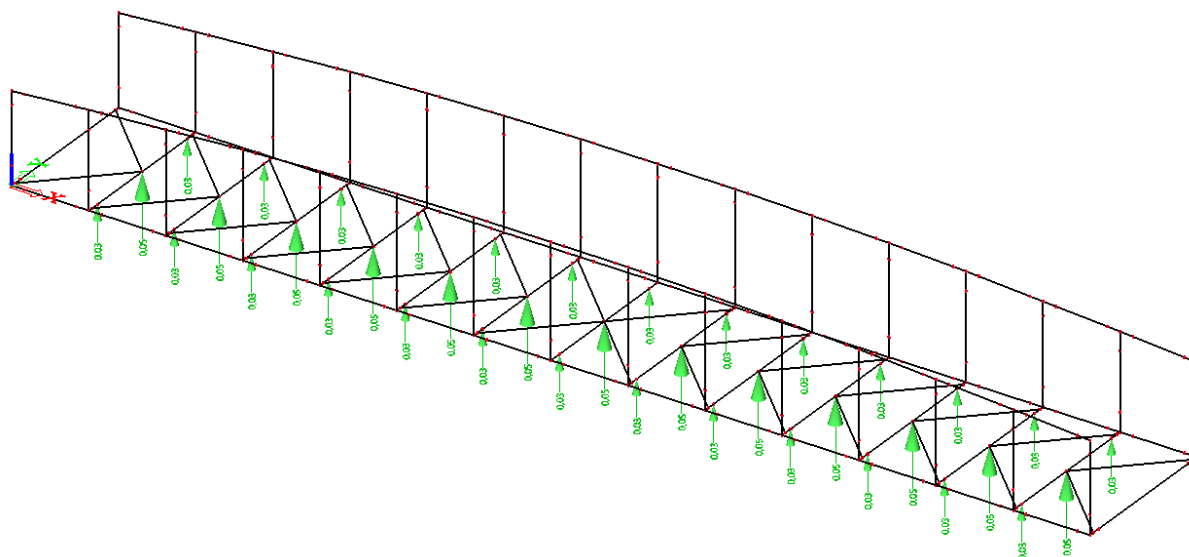
#### Skupina hmot a zatěžovací stav pro zatěžovací případ 1:



Obr. 73 Hmoty modelované pro zatěžovací případ 1

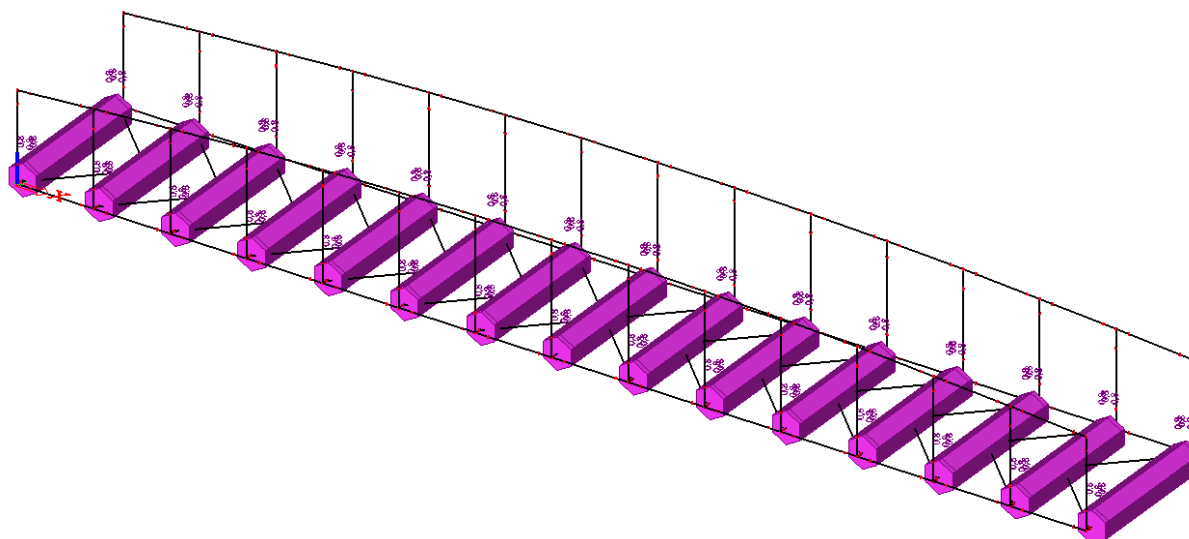
Jméno	ZS8
Popis	DYNAMICKÉ ZATÍŽENÍ - ZATĚŽOVACÍ PŘÍPAD 1
Typ působení	Nahodilé
Skupina zatížení	LG7
Typ zatížení	Dynamické
Specifikace	Hamonické
<b>Parametry</b>	
Logaritmický dekrement	0,0251
Frekvence [Hz]	2,24
Řídicí zat. stav	Žádný
Kombi hmot	CM3 - ZATĚŽOVACÍ PŘÍPAD 1

Obr. 74 Nastavení zatěžovacího stavu ZS8 ve Scia Engineer



Obr. 75 Schéma modelování zatížení v zatěžovacím stavu ZS8

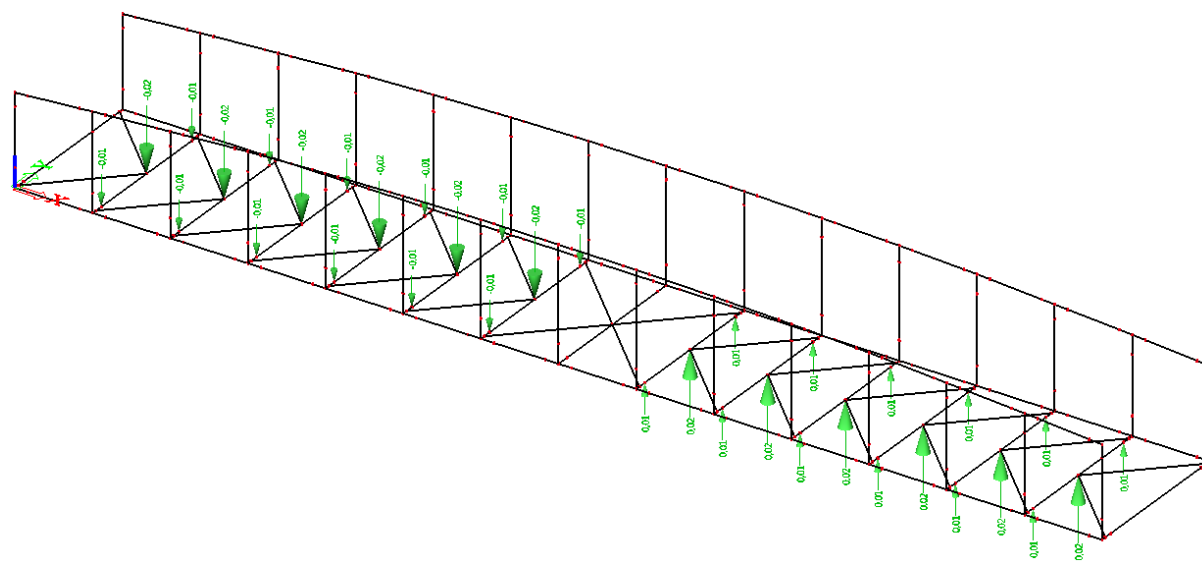
Skupina hmot a zatěžovací stav pro zatěžovací případ 3:



Obr. 76 Hmoty modelované pro zatěžovací případ 3

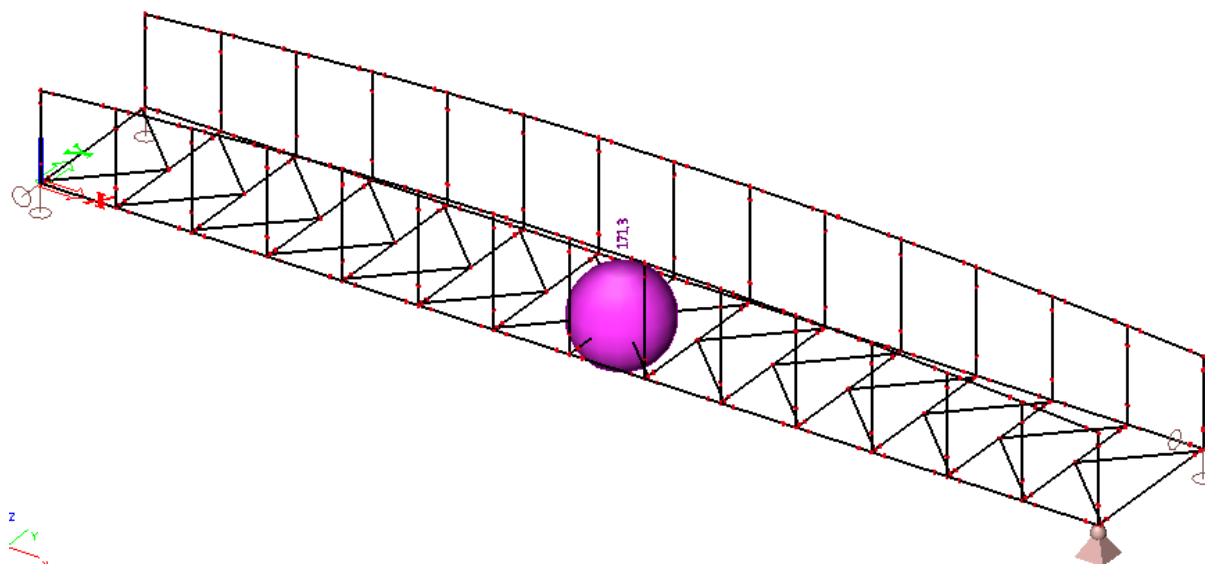
Jméno	ZS9
Popis	DYNAMICKÉ ZATÍŽENÍ - ZATĚŽOVACÍ PŘÍPAD 3
Typ působení	Nahodilé
Skupina zatížení	LG2
Typ zatížení	Dynamické
Specifikace	Harmonické
<b>Parametry</b>	
Logaritmický dekrement	0,0251
Frekvence [Hz]	4,00
Řídicí zat. stav	Žádný
Kombi hmot	CM4 - ZATĚŽOVACÍ PŘÍPAD 3

Obr. 77 Nastavení zatěžovacího stavu ZS9 ve Scia Engineer



Obr. 78 Schéma modelování zatížení v zatěžovacím stavu ZS9

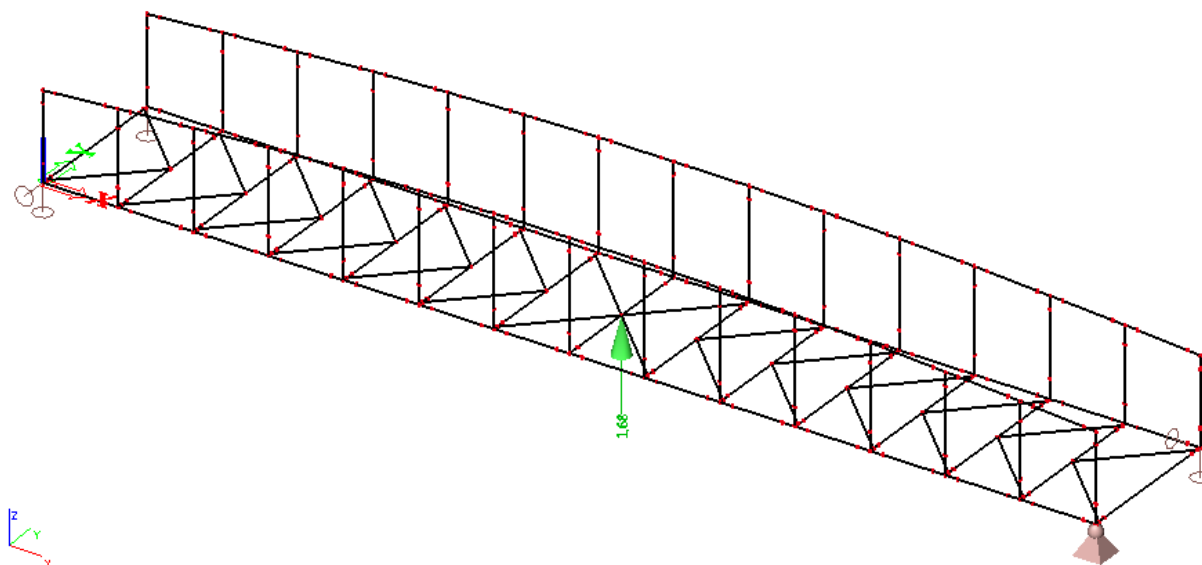
Skupina hmot a zatěžovací stav pro vandalismus 1:



Obr. 79 Hmoty modelované pro vandalismus 1

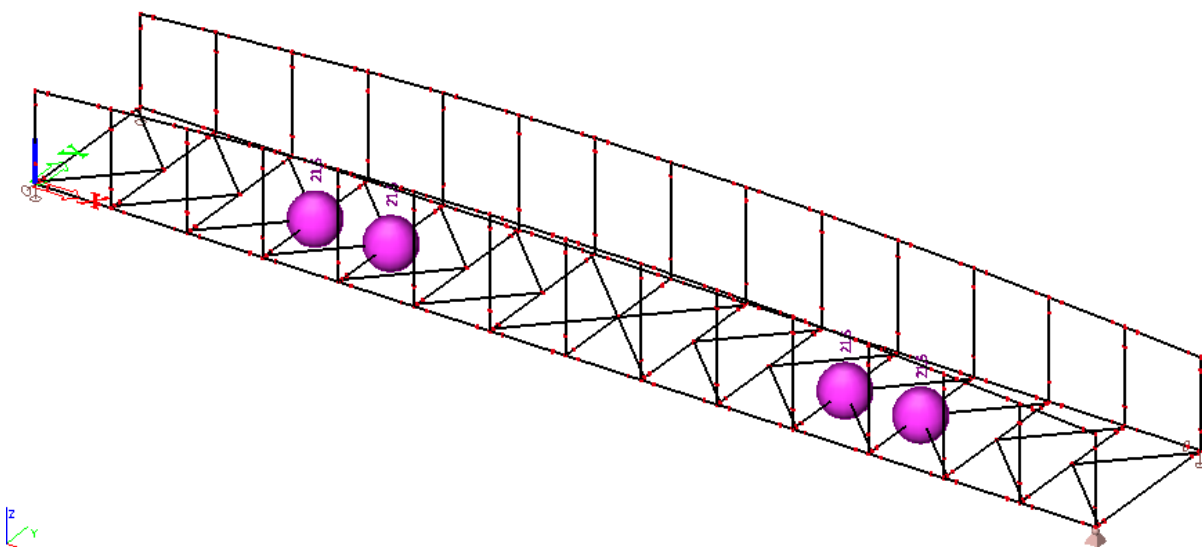
Jméno	ZS10
Popis	DYNAMICKÉ ZATÍŽENÍ - VANDALISMUS 1
Typ působení	Nahodilé
Skupina zatížení	LG7
Typ zatížení	Dynamické
Specifikace	Hammonické
<b>Parametry</b>	
Logaritmický dekrement	0,0251
Frekvence [Hz]	2,24
Řídicí zat. stav	Žádný
Kombi hmot	CM5 - VANDALISMUS 1

Obr. 80 Nastavení zatěžovacího stavu ZS10 ve Scia Engineer



Obr. 81 Schéma zatížení v zatěžovacím stavu ZS10

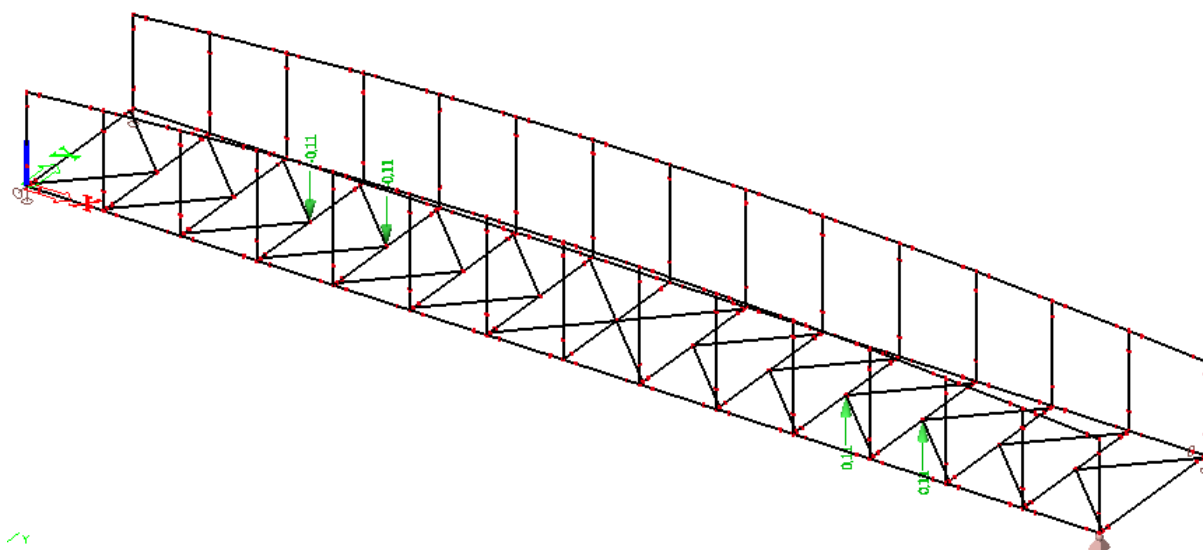
Skupina hmot a zatěžovací stav pro vandalismus 2:



Obr. 82 Hmoty modelované pro vandalismus 2

Jméno	ZS11
Popis	DYNAMICKÉ ZATÍŽENÍ - VANDALISMUS 2
Typ působení	Nahodilé
Skupina zatížení	LG7
Typ zatížení	Dynamické
Specifikace	Hamonické
<b>Parametry</b>	
Logaritmický dekrement	0,0251
Frekvence [Hz]	4,00
Řídicí zat. stav	Žádný
Kombi hmot	CM6 - VANDALISMUS 2

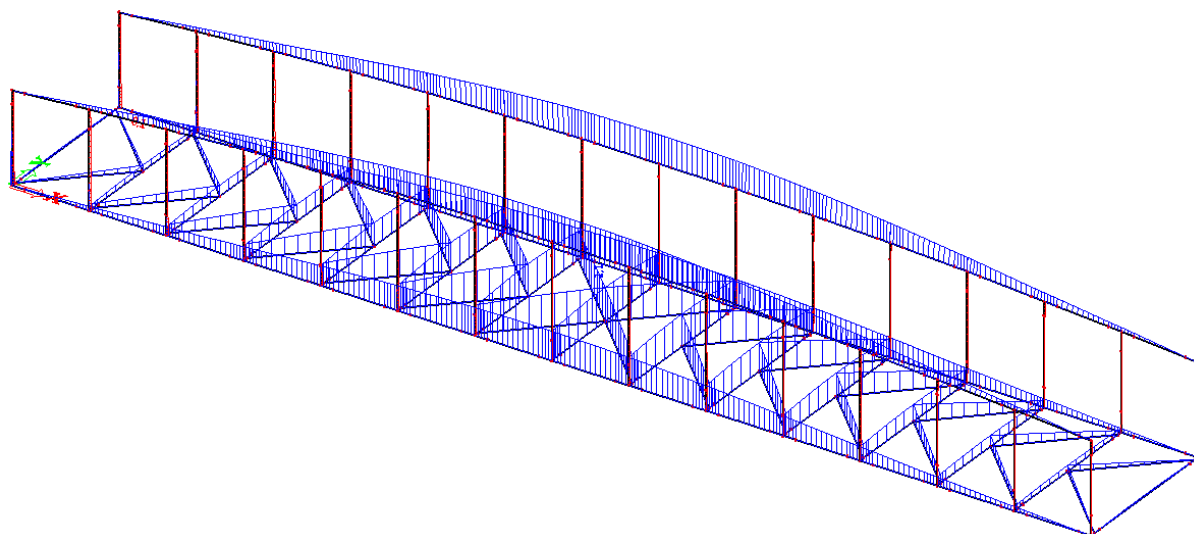
Obr. 83 Nastavení zatěžovacího stavu ZS11 ve Scia Engineer



Obr. 84 Schéma zatížení v zatěžovacím stavu ZS11

Deformace a výpočet zrychlení lávky od modelovaných dynamických zatížení:

1) Zatěžovací případ 1



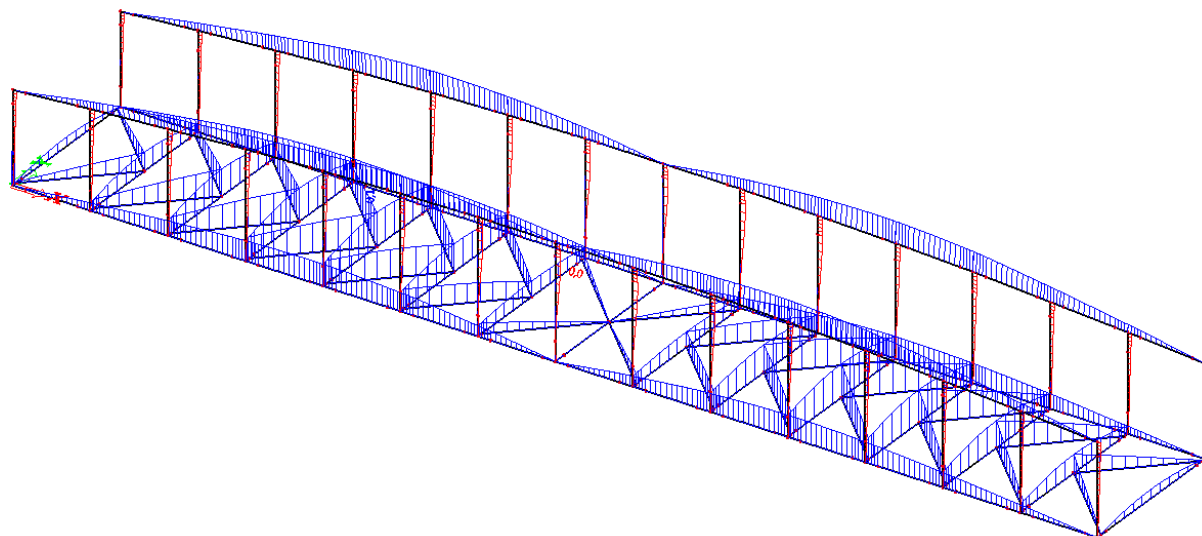
Obr. 85 Deformace od harmonického zatížení ZS8

Maximální průhyb  $\delta_{\max} = 1,1 \text{ mm}$

Zrychlení  $a_v = (2\pi f_v)^2 \cdot \delta_{\max} = (2\pi \cdot 2,24)^2 \cdot 0,0011 = 0,218 \text{ m.s}^{-2}$

Toto Zrychlení vyhovuje požadavku evropských norem a podle [1] spadá do oblasti maximální pohody chodců.

## 2) Zatěžovací případ 3



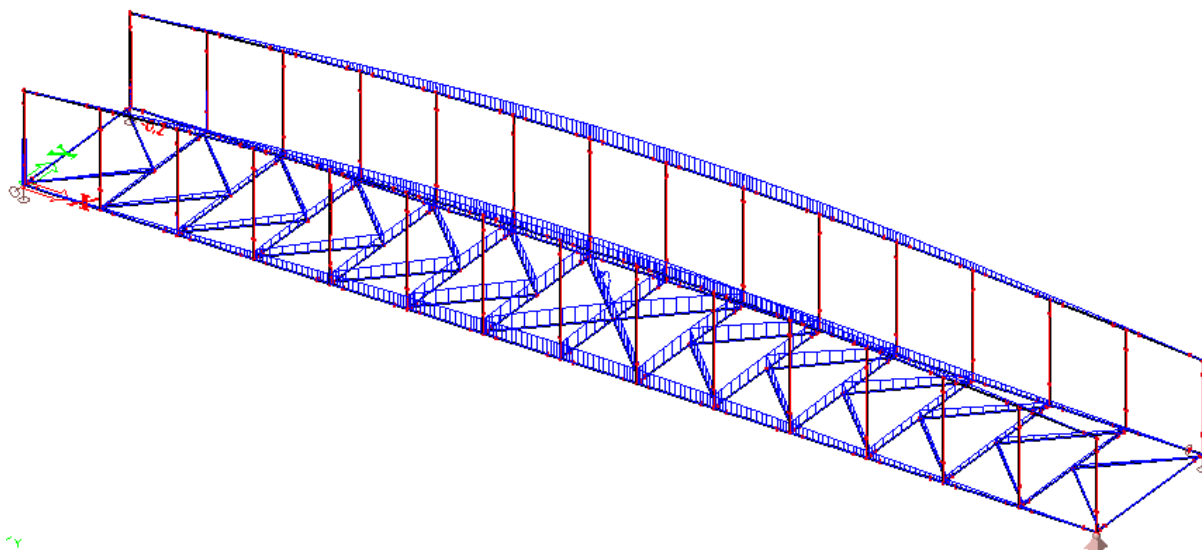
Obr. 86 Deformace od harmonického zatížení ZS9

Maximální průhyb  $\delta_{\max} = 0,5 \text{ mm}$

Zrychlení  $a_v = (2\pi f_v)^2 \cdot \delta_{\max} = (2\pi \cdot 4,00)^2 \cdot 0,0005 = 0,316 \text{ m.s}^{-2}$

Toto Zrychlení vyhovuje požadavku evropských norem a podle [1] spadá do oblasti maximální pohody chodců.

## 3) Vandalismus 1



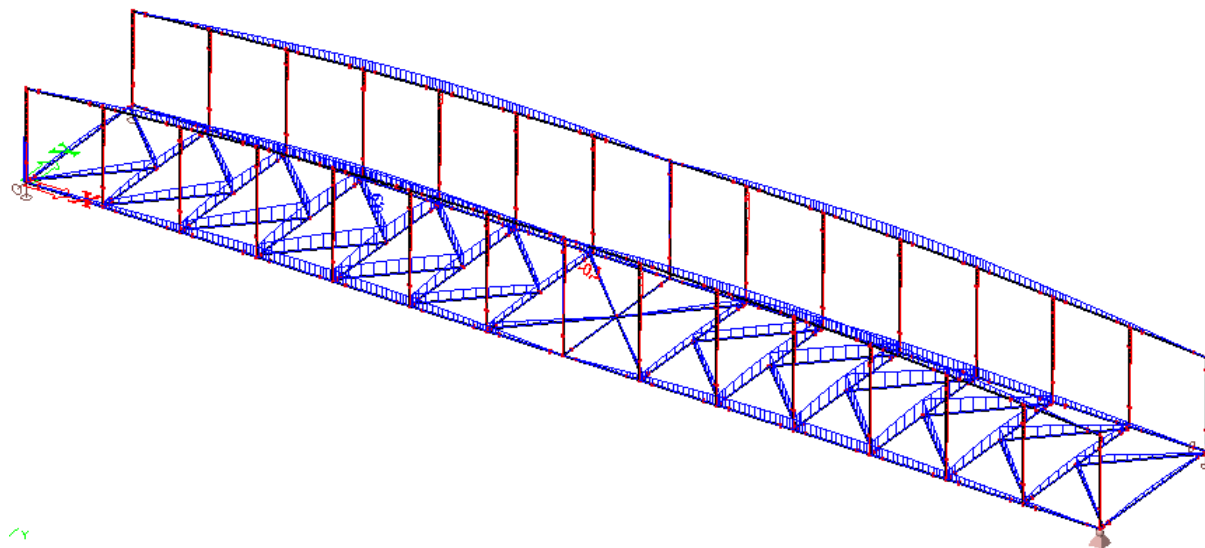
Obr. 87 Deformace od harmonického zatížení ZS10

Maximální průhyb  $\delta_{\max} = 2,3 \text{ mm}$

Zrychlení  $a_v = (2\pi f_v)^2 \cdot \delta_{\max} = (2\pi \cdot 2,24)^2 \cdot 0,0023 = 0,456 \text{ m.s}^{-2}$

Toto Zrychlení vyhovuje požadavku evropských norem a podle [1] spadá do oblasti maximální pohody chodců.

#### 4) Vandalismus 2



Obr. 88 Deformace od harmonického zatížení ZS11

Maximální průhyb  $\delta_{\max} = 0,9 \text{ mm}$

Zrychlení  $a_v = (2\pi f_v)^2 \cdot \delta_{\max} = (2\pi \cdot 4,00)^2 \cdot 0,0009 = 0,569 \text{ m.s}^{-2}$

Toto Zrychlení vyhovuje požadavku evropských norem a podle [1] spadá do oblasti maximální pohody chodc.

##### 9.8.2.4 Vyhodnocení dynamického posouzení lávky

Vlastní frekvence lávky spadají do nebezpečných oblastí, kde může dojít k rezonanci s krokovou frekvencí. Avšak pro řešené případy dynamického harmonického zatížení je maximální zrychlení v mezích, které připouští ČSN EN 1990 a také [1]. Lze předpokládat, že lávka vyhoví pro běžný provoz bez jakýchkoli potíží a to bez nutnosti návrhu tlumiče vibrací. Po provedení dynamické zatěžovací zkoušky je třeba zkontrolovat hodnotu poměrného útlumu lávky. Lávka vyhoví z hlediska dynamického posudku.

## 10. ZÁVĚR

Veškeré výpočty a posouzení byly provedeny dle platných norem a předpisů. Jednotlivé posudky byly zpracovány ručně, s částečnou automatizací pomocí programu microsoft excel. Model konstrukce a zatížení, výpočet vnitřních sil a deformací konstrukce a také dynamické posouzení konstrukce lávky byly zpracovány v programu Scia Engineer. Veškeré posuzované prvky a části konstrukce lávky pro pěší vyhoví na zkoumané kombinace zatížení s dostatečnou rezervou.



## 11. POUŽITÁ LITERATURA

### Normy ČSN EN:

ČSN EN 1990:	Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí
ČSN EN 1991-1-1:	Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb
ČSN EN 1991-1-4:	Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem
ČSN EN 1991-1-5:	Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-5: Obecná zatížení – Zatížení teplotou
ČSN EN 1991-2:	Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 2: Zatížení mostů dopravou
ČSN EN 1992-1-1:	Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní konstrukce
ČSN EN 1993-1-1:	Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby
ČSN EN 1993-1-8:	Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-8: Navrhování styčníků
ČSN EN 1993-2:	Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 2: Ocelové mosty
ČSN EN 1337-1 až 10:	Stavební ložiska

### Publikace a knihy:

- [1] STUDNIČKOVÁ, CSc., Ing. Marie, Ing. Jaromír KRÁL, CSc., Doc. Ing. Daniel MAKOVÍČKA, DrSc. a Ing. Daniel MAKOVÍČKA, jr.  
Ověření lávek od dynamického zatížení chodci. *Stavební obzor* [online]. 2011, č. 5, s. 7 [cit. 2014-12-29]. Dostupné z: <http://www.profesis.cz/files//dokumpdf/sobzor/so052011.pdf>

### Internetové odkazy:

<http://csnonline.unmz.cz>  
<http://kovprof.cz>  
[www.ocel.wz.cz](http://www.ocel.wz.cz)  
[www.reisnerwolff.cz](http://www.reisnerwolff.cz)  
[www.freyssinet.cz](http://www.freyssinet.cz)  
[www.profesis.cz](http://www.profesis.cz)  
[www.helmos.cz](http://www.helmos.cz)